



**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 GENIE CIVIL

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

Mémoire de fin d'étude en vue de l'obtention du diplôme de

Master, Filière: HYDRAULIQUE

Spécialité : FORAGE D'EAU

Thème

Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines à l'aide des modèles d'analyse multicritères cas de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbes (Nord-ouest Algerie)

Présenté par :

- ❖ **MOULAY Aymene**
- ❖ **Kermadi Mohammed Akram**

Soumis au jury composé de :

BOUZIANE Lamia	MCB	UKMO	Président
MANSOURI Zina	MAA	UKMO	Examineur
BOUAMRANE Ali	MCB	UKMO	Encadreur
DERDOUS Oussama	MCB	UKMO	Co-Encadreur

Année Universitaire: 2019 / 2020

Remerciements

Nous commençons par remercier dieu le tout puissant de nous avoir donné le courage, la volonté et l'amour du savoir pour pouvoir réaliser ce modeste travail.

Nos plus vifs remerciements vont à **BOUAMRANE Ali** pour avoir accepté de nous encadrer et nous diriger tout le long de la réalisation de ce projet, et pour

Tous les conseils instructifs et judicieux
et sa disponibilité.

Nous tenons à remercier également les membres de

Jury:

MANSOURI Zina et **BOUZIANE I** pour avoir
Accepté d'examiner ce travail.

A tous les enseignants du département Hydraulique et
Génie civil qui ont contribué à notre formation

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail à ma mère pour m'avoir mis au
Monde et pour m'avoir accompagné toute le
long de ma vie. Je lui dois une fière
Chandelle. Mon père qui sans lui je ne serais
pas arrivé jusqu'ici. J'espère toujours
Rester fidèle aux valeurs morales qu'il m'a
appries.

Mes très chères sœurs et frères et toute ma famille.
Mes très chers amis.

Aymene

DEDICACES

Toutes les lettres ne sauraient trouver les mots qu'il faut...

Tous les mots ne sauraient exprimer la gratitude, l'amour, le respect, la reconnaissance... Aussi, c'est tout simplement que je dédie ce travail à **ma maman et mes grands parents**

Que le dieu le tout puissant t'accorde sa sainte miséricorde et t'accueille en son vaste paradis et vous accorde Janate al Firdaws.

A mes très chers parents

Aucune dédicace ne saurait être assez éloquente pour exprimer la profondeur des sentiments d'affection, d'estime et de respect que je vous porte, pour l'amour dont vous m'avez toujours comblé, l'éducation et le bien être que vous m'avez assuré, pour vous soutien, vos sacrifices et vous prières. Aussi fière d'y appartenir, aussi déterminé a en être digne.

A tous mes amis chacun par son nom

B.Chaima, M.Aymene, C.Djamel, B.Djamel, B.Abdelhak

Je ne peux trouver les mots justes et sincères pour vous exprimer mon affection et mes pensées, vous êtes pour moi des frères, sœurs et des très chers amis sur que je veux compter.

Akram

Table des matières

Liste des Tableaux	1
Liste des figures	1
Introduction générale	1
Chapitre 1 recherche bibliographique	
Introduction	3
1. Généralité sur les nappes d'eaux souterraines :	3
1.1. L'origine des eaux souterraines	3
1.2. Notions et des différents types de nappes d'eau souterraine	3
1. La pollution des nappes	4
2. Mécanisme de pollution des eaux souterraines	5
3. Sources de contamination des eaux souterraines	6
4. Notion de la Vulnérabilité de nappes	7
4.1. la vulnérabilité intrinsèque	7
4.2. la vulnérabilité spécifique	7
5. Méthodes existantes de cartographie de la vulnérabilité des aquifères	7
Conclusion :	3
Chapitre 2 méthode et matériel	
Partie 01 : les caractéristiques de la zone d'étude	11
Introduction	11
1. Présentation de la zone d'étude	11
1.1. Situation géographique :	11
2. Contexte géologique :	12
3. Litho-stratigraphie	13
3.1. Quaternaire	13
3.2. Tertiaire	14
3.3. Secondaire	14
3.4. Tectonique	15
4. Contexte hydrogéologique	17
4.1. Les différents types d'aquifère dans la plaine de Sidi Bel Abbés	17
4.2. La nappe alluviale du Plio-quaternaire de Sidi Bel Abbés.	17
4.3. La nappe alluviale plio-quaternaire de Sidi Bel Abbés :	17
4.4. Nappe des grès pliocènes de la forêt de Tenira :	18
4.5. Nappe des calcaires éocènes de Sidi Ali Boussidi (nappe des terrains	18

charriés) :	
4.6. Nappe des calcaires et dolomies jurassico-crétacés de Sidi Ali Ben Youb :	18
4.7. Nappe des calcaires de Zygine (Aptien) de la forêt de Belarbi :	19
4.8. RESEAU HYDROGRAPHIQUE :	19
5. Climatologie et Occupation du sol	20
5.1. Le climat :	20
5.2. Etude des précipitations	20
5.2.1 Précipitations annuelles	20
5.2.2 Précipitations mensuelles	21
5.2.3 Précipitations Saisonnière	21
5.3. Température	21
5.4. Occupation du sol	22
5.4.1. Agriculture :	22
5.4.2. Indice de végétation (NDVI):	22
5.4.3. Lithologie	23
5.4.4. Industrie :	23
6. La carte de nitrate	24
7. Les sources de pollution	25
6. Méthodologie	26
5.6 Définition :	26
5.7 Les composants d'un SIG :	26
5.8 Les fonctionnalités d'un SIG :	27
5.9 Données attributaires	28
5.10 Objet géographique ou données spatiales	28
7. Modèle DRASTIC	29
8. Modèle SI (susceptibilité index)	29
Conclusion	30
Chapitre 3 Résultats et discussion	
Introduction	32
1. Modèle DRASTIC :	32
2. Extraction des paramètres	33
2.1 La profondeur de la nappe :	33

2.2 La recharge nette :	35
2.3 Le milieu aquifère :	36
2.4 Le type de sol :	37
2.5 La pente topographique :	38
2.6 L'impact de la zone non saturée :	40
2.7 La conductivité hydraulique :	41
3. Modèle SI (susceptibilité index)	43
4. L'application des modèles:	43
5. Extraction des paramètres	44
5.1 La carte de l'occupation de sol :	44
6. Technique d'évaluation	45
6.1 Standarisation :	45
6.2 <i>Analyse du degré de vulnérabilité</i>	46
7. Résultats et discussion	48
7.1. La carte de l'indice DRASTIC :	48
7.2. La carte de l'indice SI :	49
7.3. Comparisons de résultats :	50
7.4. Discussion :	50
Conclusion	53
Conclusion générale	56
References bibliographique	58
Annexe	61

المخلص: الهدف من هذه الدراسة هو تحديد ورسم خرائط للمناطق الحساسة لمخاطر تلوث المياه الجوفية في سهل سيدي بلعباس، بدمج نظام المعلومات الجغرافية والاستشعار عن بعد مع مراعاة العوامل المؤثرة في الظاهرة. تم إجراء تخصيص الأوزان والأهمية النسبية لكل عامل باستخدام نموذج، DRASTIC و SI.

تم تصنيف النتائج التي تم الحصول عليها إلى خمس فئات من الحساسية إلى: منخفضة جدا، منخفضة، متوسطة، عالية و عالية جدا بناءً على هذا التحليل، قمنا بحساب توزيع التلوث ونسبة درجات الحساسية ووجدنا 38.05% من المنطقة مهددة بتلوث المياه الجوفية وتم التحقق من صحة النتائج باستخدام خرائط النترات. لذلك يمكن استخدام النتائج كأداة مفيدة لمساعدة المسيرين و اصحاب القرار على تصور مستوى التلوث بشكل أفضل، ومنع المخاطر وتطوير استراتيجيات تخطيط استخدام الأراضي بشكل فعال.

الكلمات المفتاحية :

الضعف أو الهشاشة أو DRASTIC، نظم المعلومات الجغرافية، الاستشعار عن بعد، (SI) Susceptibility index . الحساسية،

Résumé

L'objectif de cette étude, consiste à identifier et cartographier les zones sensibilités au risque de la pollutions des nappes dans la nappes de plain de Sidi bel Abbes , à l'aide de l'intégration ,le système d'information géographique et les techniques de télédétection , tout en considérant les facteurs influents sur cette phénomène . L'attribution des poids et l'importance relative à chaque facteur a été effectuée en utilisant le modèle DRASTIC et SI . Les résultats obtenus a été classée en cinq catégories de sensibilité à : tres faible, faible, modéré, fort et tres fort de pollutions sur la base de cette analyse, on a calculé la distribution de la superficie et le pourcentage des degrés de sensibilité et on a constaté que 8.14 et 38.05% de la région était menacée par la pollution souterraine respectivement pour modele DRASTIC et SI. Les résultats obtenus ont été validés par une vérification a l'aide de la carte de nitrat . Donc les résultats peuvent être utilisées comme un outil utile afin d'aide les gestionnaires de mieux visualiser le niveau d'urgence, la prévention contre le risque et de développer efficacement des stratégies de la planification de l'utilisation des sols.

Mot clés:

Vulnérabilité, DRASTIC, SIG, télédétection, Susceptibilité index (SI).

Abstract

The objective of this study is to identify and map areas sensitive to the risk of groundwater pollution in the plain de sidi bel Abbes , using the integration, the geographic information system and the remote sensing techniques, while considering the factors influencing the phenomenon. The assignment of weights and relative importance of each factor was performed using the DRASTIC and SI model. The results obtained were classified into narrow categories of sensitivity to: low, moderate and high risk of pollution on the basis of this analysis, we calculated the distribution of the area and the percentage of degrees of sensitivity and it was found that 38.05% of the region was threatened by underground pollution. The results obtained were validated by verification using nitrat maps. So the results can be used as a useful tool to help managers better visualize the level of emergency, prevent risk and effectively develop land use planning strategies.

Keywords:

Vulnerability, DRASTIC, GIS, remote sensing, SI.

LISTE DES FIGURES

Figures	page
Figure1.1 : types d'aquifères et de nappes	4
Figure1.2 : le Mécanisme de pollution des eaux souterraines	6
Figure1.3 : les sources de pollution domestique et industrielle	7
Figure 2.1 : zone d'étude	11
Figure 2.2 : la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbas	12
Figure2.3 : Log litho stratigraphique synthétique de la plaine de Sidi Bel Abbas(Sourisseau, 1973)	15
Figure 2.4 : Coupes géologiques de la plaine de Sidi Bel Abbas (B Sourisseau, 1972)	16
Figure2.5 :Réseau hydrographique plaine de Sidi bel abbes	20
Figure 2.6 : L'indice de végétation par différence normalisée	23
Figure 2.7 : Les activités industrielles dans la wilaya de Sidi Bel Abbas	24
Figure 2.8 : carte de nitrat	25
Figure 2.9 : la carte de distribution de point de source de pollution	26
Figure 3.1 : la carte de profondeur	34
Figure 2.3 : la carte de recharge nette	36
Figure 3.3 : la carte de milieu aquifer	37
Figure 3.4 : la carte de type de sol	38
Figure 3.5 : digital élévation modèle	39
Figure 3.6 : la carte de la pente	40
Figure 3.7 : la carte de la zone non saturé	41
Figure 3.8 : la carte de conductivité	42
Figure 3.9 : carte land sat 8	44
Figure 3.10 : carte de l'occupation de sol	45
Figure 3.11 : Le processus de standarisation	46
Figure 3.12:Multiplication de différents paramètres du modèle DRASTIC	46
Figure 3.13 : Multiplication de différentes paramètres du modèle SI	47
Figure3.14 : Calculatrice de raster (Raster Calculator)	47
Figure3.15 : carte de DRASTIC	48
Figure 3.16 : carte de SI	49
Figure 3.17 : la classification de vulnérabilité selon le modèle SI et DRASTIC respectivement	51
Figure 3.18 : la classification de vulnérabilité selon le modèle SI	51
Figure 3.19 : la classification de vulnérabilité selon le modèle DRASTIC	52

LISTE DES TABLEAUX

Tableaux	page
Tableau 1.1 : comparaison entre les modèles d'évaluations de vulnérabilité	8
Tableau2.1 : Précipitations moyennes annuelles (1980-2016)	20
Tableau2.2 : Précipitations moyennes mensuelles (1980-2016)	21
Tableau2.3 : Répartition des précipitations saisonnières	21
Tableau2.4 : température moyennes mensuelles (1980-2016)	21
Tableau 3.1 : les facteurs du modèle DRASTIC	32
Tableau 3.2 : les données relatifs a la profondeur de la nappe (ANRH 2010)	33
Tableau 3.3. : Précipitations et recharges nettes moyennes annuelles des stations météorologiques (ONM 2010 modifié).	35
Tableau 3.4 : donnée relatif à la zone non saturée	41
Tableau 3.5 : donnée relatif à la conductivité hydraulique	42
Tableau3.6 : les facteur du modèle SI	43

Introduction

Introduction Générale

Les eaux souterraines constituent un élément considérable à de nombreux processus géologiques et géochimiques et sont associées à divers services et fonctions écologiques. Celles-ci représentent 98 % des réserves d'eau douce non gelée de la planète (unisco). Par nature, la société humaine est dépendante des eaux souterraines pour la sécurité alimentaire et des moyens de subsistance durables. La vulnérabilité des eaux souterraines est un problème brûlant dans le monde entier en raison de la détérioration du niveau des eaux souterraines et de la contamination croissante qui pose de graves risques néfastes pour l'environnement. En Afrique du Nord, de nombreux aquifères sont vulnérables en termes de quantité et qualité, principalement du fait de l'urbanisation rapide et les rejets des eaux usées correspondants, ainsi que l'utilisation de plus en plus intensive d'engrais chimiques. La prévention contre la pollution des nappes constitue une étape délicate dans la gestion des aquifères. Le développement de stratégies de gestion visant à protéger la qualité des nappes souterraines nécessite une compréhension fine du devenir des polluants dans les sols. Face à cette situation, il serait intéressant d'entreprendre une réactualisation des études pour une meilleure compréhension du fonctionnement hydrodynamique du système aquifère et une réévaluation des potentialités en eau, en vue d'une gestion optimale. 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. La région de Sidi bel abess a connu durant ces dernières années une certaine expansion économique, particulièrement agricole, après l'application du Programme national de développement de l'agriculture. La principale difficulté à laquelle le Sidi bel abess est confronté n'est pas tant cet accès à l'eau, mais plus précisément l'accès à l'eau répondant à la norme. En effet, le problème se pose en termes de qualité des ressources. Le but de notre travail consiste à identifier et cartographier la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution, à l'aide de la combinaison de plusieurs méthodes en intégrant le système d'informations géographiques et les techniques de télédétection tout en considérant les facteurs influents sur le phénomène. Ce mémoire se compose de trois chapitres. Le premier chapitre est consacré à une synthèse bibliographique sur l'évaluation de la vulnérabilité des nappes.

Le deuxième chapitre est consacré à la présentation la zone d'étude ainsi que les méthodes et matériel utilise pour réaliser le travail.

Le troisième chapitre est consacré à la Cartographie les zones sensibles a la pollution sur l'ensemble de la nappe de Sidi bel Abbes en employant le modèle DRASTIC et SI sous Arc GIS.

Chapitre 1

Introduction

L'eau souterraine est d'une importance capitale dans la plupart des régions du monde (Finck et al ,2020). Toutefois, cette ressource qui était jadis de bonne qualité, se trouve actuellement menacée par diverses sources de contamination ponctuelles et diffuses. Dans ce chapitre, une recherche bibliographique est consacrée a la présentation et la description le risque de pollution des eaux souterraines, le mécanisme et le processus de la contamination ainsi que les méthodes et technique d'évaluations des agents influent et les conséquences engendrées.

2. Généralité sur les nappes d'eaux souterraines :

1.3. L'origine des eaux souterraines

Les eaux souterraines sont les eaux que l'on retrouve dans le sol. Elles sont alimentées par les eaux de pluie qui circulent dans les fissures des roches puis viennent s'infiltrer dans le sol. Ces eaux viennent par la suite former de réservoirs que l'on désigne plus communément sous le nom d'aquifères(G.serge et al , 2020). Contrairement aux eaux de surface, les eaux souterraines sont généralement de plus grande qualité. En effet, leur confinement leur permet de se retrouver moins affectées par des risques de pollution. Cependant, l'augmentation des pollutions urbaines, industrielles et agricoles constituent une menace de plus en plus grande Les formations géologiques contenant les nappes sont appelées aquifères.

1.4. Notions et des différents types de nappes d'eau souterraine

A. Nappes d'eau souterraine

Une nappe d'eau souterraine est un volume d'eau contenu dans les interstices ou les fissures de roches poreuses et perméables. Ces roches, qui contiennent l'eau, constituent des réservoirs que l'on nomme aquifères, qui laissent plus ou moins facilement circuler l'eau. L'eau souterraine provient quasi exclusivement de l'infiltration d'eau de pluie ou de rivière. Elle circule dans les interstices de la roche, parfois très lentement (A.Aboubakar et al, 2020). Elle doit en effet passer à travers les cavités de la roche, qui sont parfois microscopiques. Elle retourne généralement à la surface au niveau de sources, en alimentant de façon plus ou moins diffuse les cours d'eau, les lacs etc., ou bien rejoint les océans. L'aquifère repose sur des roches dites imperméables (mur de l'aquifère), et en profondeur ces aquifères peuvent se retrouver « piégés » sous une couche imperméable (toit de l'aquifère). On peut ainsi avoir une succession de couches aquifères et de couches imperméables.

- B. **Aquifère:** massif de roches perméables comportant une zone saturée suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre l'écoulement d'une nappe souterraine et le captage de l'eau.
- C. **Aquifère à nappe libre:** se dit d'un aquifère dont la surface piézométrique de la nappe coïncide avec la surface de la nappe.
- D. **Aquifère à nappe captive:** se dit d'un aquifère dont la surface piézométrique se situe au-dessus de la surface de la nappe. Il est limité par deux formations imperméables.
- E. **source et puits artésiens:** une eau souterraine est dite artésienne lorsque sa surface piézométrique se situe au-dessus du niveau du sol ; dans ce cas, l'eau déborde naturellement des puits. Ces sources sont très bien adaptées aux objectifs d'alimentation en eau potable puisque leur aquifère est bien protégé contre les contaminations par la couverture imperméable.

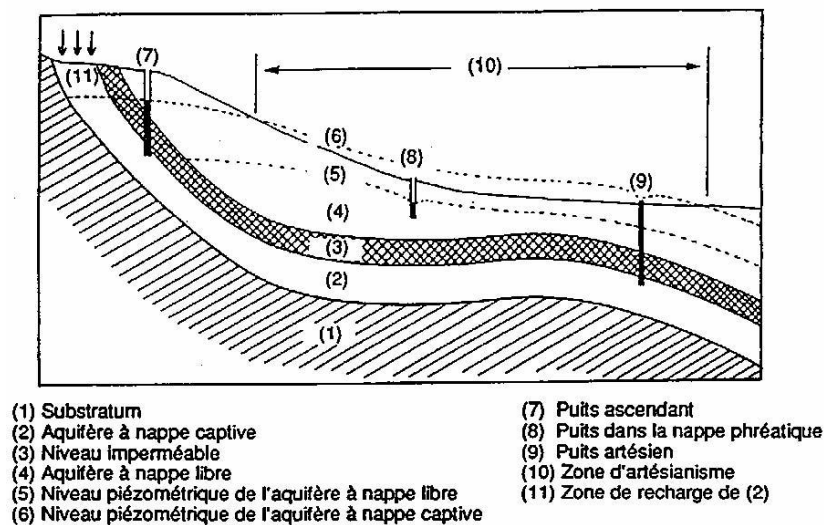


Figure 1.1 : types d'aquifères et de nappes(référence)

3. La pollution des nappes

Par définition la pollution des eaux souterraines, est la dégradation de sa qualité en modifiant ses propriétés physiques, chimiques et biologiques. Cette pollution provient de plusieurs sources d'origine soit naturelle ou anthropique .La localisation, la nature et la quantité des sources de pollution doivent être connues pour évaluer la charge de pollution à la surface du sol et donc potentiellement vers la nappe.

4. Mécanisme de pollution des eaux souterraines

A. Les transferts physiques

L'eau se déplace par gravité en s'infiltrant par la porosité du sol et/ou en suivant les pentes d'écoulement préférentiel. La convection correspond au transfert vers les profondeurs; la dispersion correspond à la diffusion de l'eau dans des voies plus ou moins horizontales. Le sol est divisé en plusieurs couches ou horizons successifs. La couche superficielle, végétale, de faible épaisseur (50 cm-1 m), est le lieu des échanges biologiques. Les couches intermédiaires présentent des mélanges de matières (terre, argile, graviers...), de liquide et d'air. Dès lors qu'il y a une présence d'air, le sol est appelé « non saturé ». Un sol non saturé est un sol où il y a de l'air. L'épaisseur de cette couche de sol est très variable, de quelques mètres dans les plaines alluviales, jusqu'à plus de 100 m dans les zones karstiques. Le temps de transfert va dépendre de deux facteurs principaux: les caractéristiques du sol et son humidité (A.Aboubakar et al, 2020).

B. Les transferts chimiques

Au cours de leur parcours dans le sol, les molécules peuvent subir diverses transformations chimiques, dont les deux principales sont d'une part la dissolution (le polluant se dissout dans l'eau - cas des hydrocarbures par exemple) ou son contraire, la précipitation (le polluant se minéralise, se fixe dans le sol) et d'autre part l'oxydoréduction. Sous certaines conditions (rareté de l'oxygène au fur et à mesure de la descente dans le sol), les polluants peuvent s'oxyder, c'est-à-dire s'unir avec l'oxygène. Le cas le plus connu est l'ammonium, présent dans les engrais qui, au contact avec l'oxygène et des bactéries, se transforme en nitrates (NO₃). Le phénomène inverse peut se produire dans le processus de dénitrification : les atomes d'oxygène disparaissent, de telle sorte qu'il n'existe plus que l'azote gazeux. Les nitrates, une fois formés, sont transportés par pure gravité, n'ont aucune interaction avec les solides et suivent le même parcours que l'eau d'infiltration. En d'autres termes, les nitrates coulent dans le sol comme l'eau. La présence de fer et de soufre peut également transformer les molécules (et conduire par exemple à une dénitrification chimique) (A.Aboubakar et al, 2020).

C. La biotransformation

Contrairement au processus précédent, abiotique, la transformation biologique implique l'action de bactéries et de micro-organismes vivants. Deux phénomènes peuvent être distingués : La biodégradation ; Le transport colloïdal (A.Aboubakar et al, 2020).

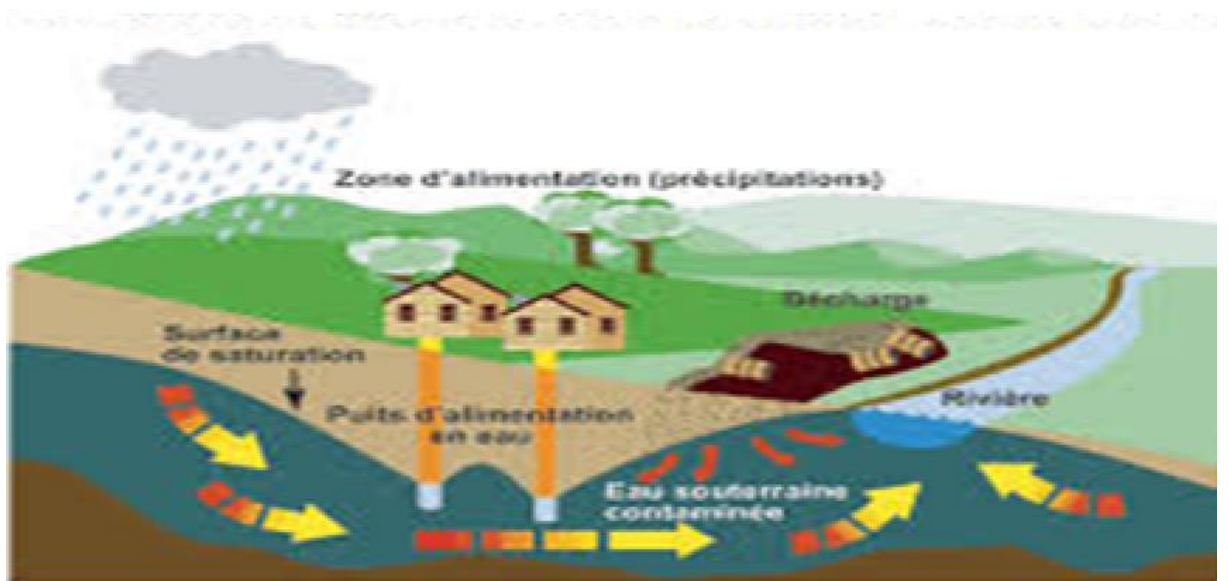


Figure1.2 : le Mécanisme de pollution des eaux souterraines (A.Deboussi ,2010)

5. Sources de contamination des eaux souterraines

Il existe plusieurs sources de contamination des eaux souterraines. La contamination des eaux souterraines survient lorsque des substances anthropiques, à savoir fabriquées par l'être humain, se dissolvent dans l'eau qui alimente les aquifères ou se mélange à celle-ci. C'est par exemple le cas du sel épandu sur les routes pour les déglacer, des produits pétroliers qui s'échappent des réservoirs souterrains, des nitrates venant de l'épandage d'engrais chimique ou de fumier sur les terres agricoles, des antiparasitaires appliqués en trop grande quantité, du lessivage des dépotoirs et des décharges ainsi que des déversements accidentels. La contamination peut également résulter de gisements naturels très riches en fer, en sulfures, en manganèse et en d'autres substances comme l'arsenic. Le fer et le manganèse sont les contaminants naturels les plus fréquents de l'eau. La contamination peut aussi provenir de la désintégration radioactive de l'uranium dans le substrat rocheux, phénomène à l'origine du radon, un gaz radioactif. Il arrive que le méthane et d'autres gaz posent également un problème. Enfin, l'eau de mer peut s'infiltrer dans les réserves souterraines, problème fréquent dans les régions côtières. Le phénomène est connu comme étant « l'invasion d'eau salée ». Ces contaminants proviennent soit d'une source ponctuelle, ou d'une source nonponctuelle ou diffuse - ceci veut dire qu'ils ont pour origine une seule source (ou point) ou, qu'ils n'ont pas une source spécifique et proviennent de l'effet cumulatif de plusieurs facteurs ou activités.



Figure1.3: les sources de pollution domestique et industrielle

6. Notion de la Vulnérabilité de nappes

La vulnérabilité d'une nappe traduit généralement la capacité d'infiltration à travers le sol et la zone non saturée de polluants issus de la surface. La notion de vulnérabilité repose sur l'idée que le milieu physique en relation avec la nappe d'eau souterraine procure un degré plus ou moins élevé de protection vis-à-vis des pollutions suivant les caractéristiques de ce milieu. Dans la littérature, on distingue deux types de vulnérabilité ;

4.1. **la vulnérabilité intrinsèque** est le terme utilisé pour représenter les caractéristiques du milieu naturel (c'est-à-dire qu'elle dépend du contexte topographique (pente du terrain), pédologique (perméabilité), perméabilité, épaisseur) qui déterminent la sensibilité des eaux souterraines à la pollution par les activités humaines.

4.2. **la vulnérabilité spécifique** 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.

5. Méthodes existantes de cartographie de la vulnérabilité des aquifères

De nombreuses méthodes de détermination de la vulnérabilité des eaux souterraines ont été développées dans le monde, allant des plus complexes avec des modèles prenant en compte les processus physiques, chimiques et biologiques dans la zone noyée, à des méthodes de pondération entre différents critères affectant la vulnérabilité (Gogu et Dassargues, 1998 b).

Elles peuvent être classées en trois grandes catégories :

- Les méthodes de cartographies à index : basées sur la combinaison de cartes de divers paramètres d'une région (critères de vulnérabilité), en donnant un index numérique ou une valeur à chaque paramètre. La combinaison des cartes se fait au moyen de logiciels de traitement multicritères (SIG, par exemple) ;
- 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 ;
- 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.

Tableau 1.1 : comparaison entre les modèles d'évaluations de vulnérabilité

	Les méthodes de cartographies	Les modèles de simulation	Les méthodes statistiques
modèle	Drastic, SI, god	modflow	FR ACP
Identification	basé sur la liaison de cartes de déférant paramètre d'une zone (profondeur de la nappe, géologie, topographie etc.)	il consiste a trouvé une solution numérique a des équations mathématiques représentant les processus couplés qui régissent le transport de contaminants.	elles sont basées sur une variable qui dépend de la concentration en contaminant ou d'une probabilité de contamination
auteur	(N.bentekhici et al. 2017) (F. Boucenna.2009) (V.Murat.2000) (M.Hamza,et al.2007)	(A.Bellaredj.2019)	

Conclusion :

A travers de cette synthèse bibliographique, nous avons présenté quelques éléments Essentiels étendus dans le contexte de l'évaluation de la vulnérabilité des nappes d'eaux souterraines à la pollution.

Chapitre 2

Introduction

Dans les bassins versants du Nord-ouest Algérien, la pollution des eaux présente un problème complexe. L'utilisation de l'eau dans le secteur industriel, domestique et agricole influence la qualité et la quantité de l'eau souterraine. C'est pourquoi, nous avons consacré ce chapitre à l'étude des caractéristiques physico-dynamique du la nappe alluvial de la plaine de sidi bel Abbès pour montrer l'influence de c'est sur la nappe.

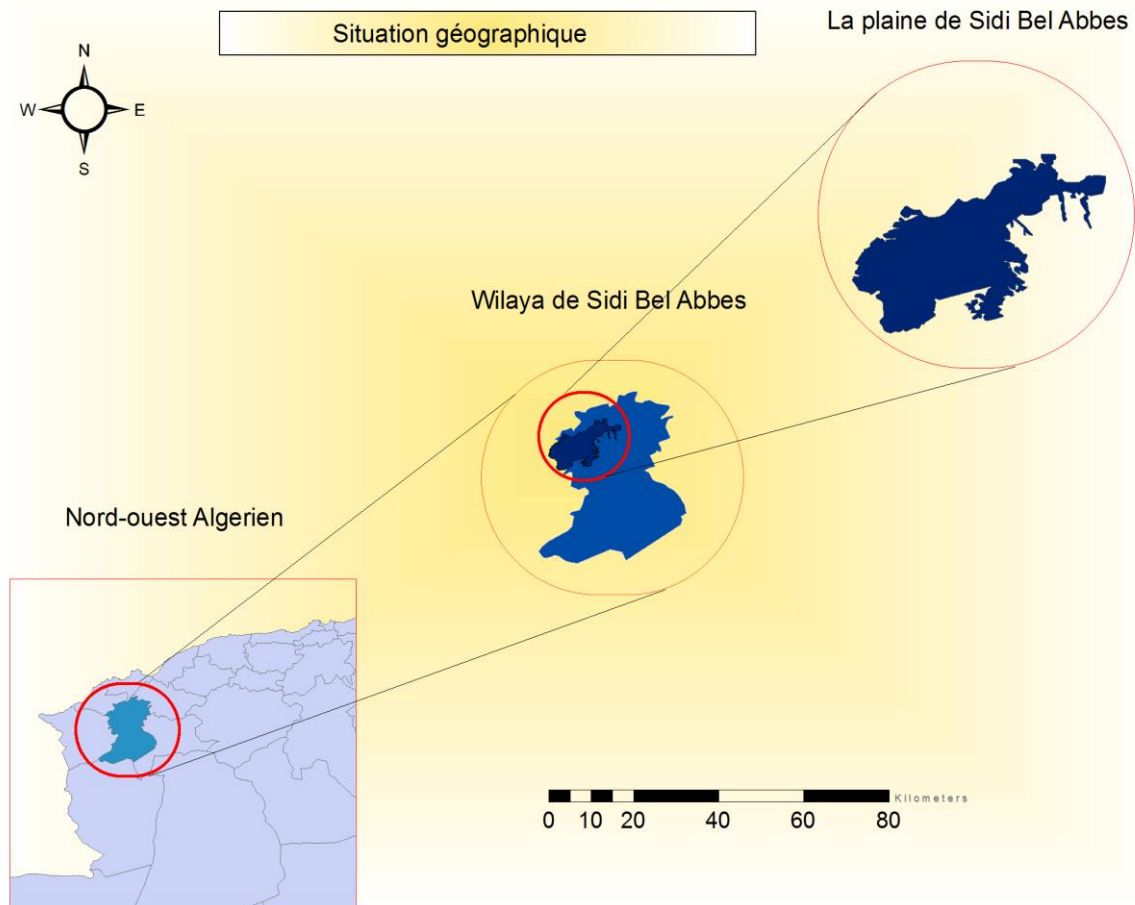


Figure 2.1 : zone d'étude

1. Présentation de la zone d'étude

1.1. Situation géographique :

La plaine de sidi bel abbés c'est l'un des grands bassins verson de l'Oranie .Ce bassin est limité, au nord par les monts de Tessala, au sud par la ride anticlinale des Hauts Plateaux de Ras-El-Maa, à l'ouest par le bassin de l'oued Isser et à l'est par les monts des Béni Chougran et oued El Hammam

Le bassin correspondant à la région, a une topographie relativement plane de la plaine de Sidi Bel Abbés qui est encadrée par les reliefs suivants: -

- Au nord: les monts de Tessala, aux terrains peu ou pas perméables, plissés et charriés qui forment une barrière septentrionale continue et imperméable.
- Au sud: les monts de Tlemcen-Saïda, aux terrains, rigides, fracturés qui forment la limite méridionale continue et perméable.
- A l'ouest: les collines serravaliennes de l'oued Isser qui forment une limite occidentale continue et imperméable.
- A l'est: les reliefs des Béni-Chougran et Bou Henifia qui forment la limite orientale continue et imperméable(yousfi ,2008) .

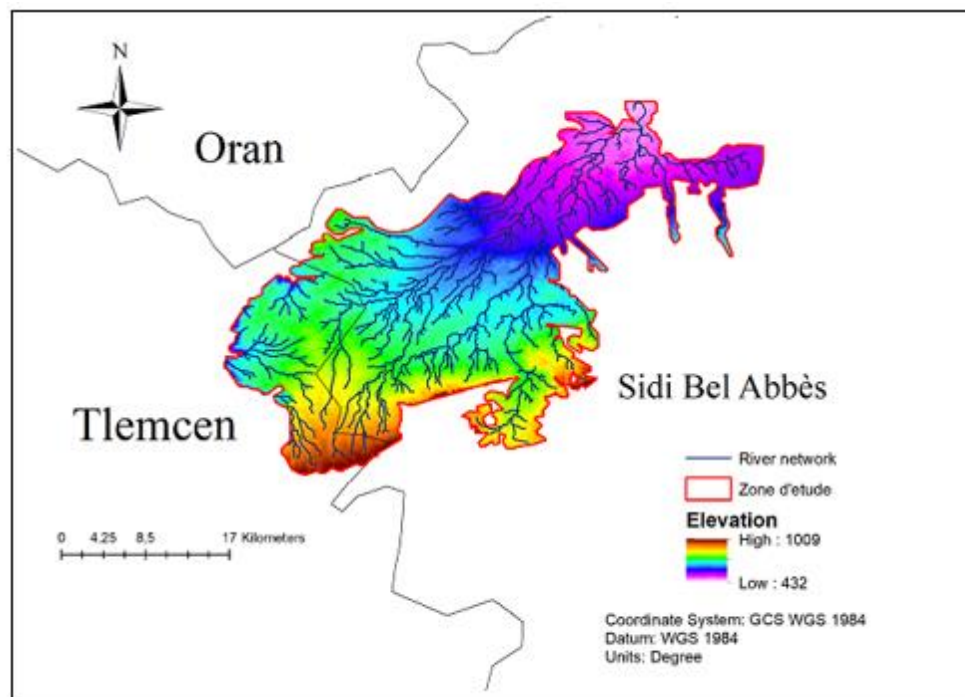


Figure 2.2 : la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbès

2. Contexte géologique :

La plaine de Sidi Bel Abbès est une vaste cuvette à substratum argilo-marneux, imperméable, d'âge miocène ou pliocène inférieur, comblée par des formations quaternaires détritiques, essentiellement conglomératiques et des dépôts sableux et gréseux alternant avec des limons, provenant de la désagrégation des reliefs qui l'entourent (B. Sourisseau, 1973).

D'une superficie de 1166 Km² et de direction NE-SW, la plaine de Sidi Bel Abbès représente la partie la plus basse du bassin versant de la Mekerra. Elle est considérée, de point de vue hydrogéologique, comme la plus importante du NW algérien. Sa structure en cuvette à remplissage alluvionnaire quaternaire et plio- quaternaire lui permet d'être le siège d'un écoulement souterrain. Elle est limitée au Nord et à l'Est par des terrains post-crétacés, au Sud par des terrains jurassiques et crétacés.

La plaine de Sidi Bel Abbès est une cuvette dont les reliefs de bordure sont géologiquement très diversifiés. Sur la bordure nord, les monts de Tessala sont allongés en direction SW-NE, très plissés à ossature crétacée et à recouvrement tertiaire très épais (B. Sourisseau, 1973).

Sur la bordure sud, les monts de Tlemcen-Saïda sont formés presque totalement de matériaux jurassiques moyens et supérieurs et crétacés inférieur et moyen. Compris entre deux massifs granitiques, ce massif peu plastique du Mésozoïque est disloqué par deux systèmes de failles. Sur la bordure ouest, les collines de marnes helvétiques séparent les bassins versants de l'oued Isser et l'oued Mekerra. À l'Est, un prolongement des Béné Chougran, par la série marneuse du Miocène de Bou Henifia, atteint l'extrémité orientale de la plaine de Sidi Bel Abbès. Le centre de la plaine est une large cuvette à substratum uniforme argilo-marneux, gris et vert, daté du Miocène ou du Pliocène (B. Sourisseau, 1973).

3. Litho-stratigraphie

La succession stratigraphique de la plaine de Sidi Bel Abbès réalisée par (B. Sourisseau, 1973) met en évidence les formations suivantes :

3.1. Quaternaire

- Le Soltanien et le Rharbien : au Soltamen, on observe un limon rubéfié avec un horizon noirci- et un autre plus clair correspondant à des apports colluviaux d'argiles sableuses. Au Rharbien se déposent en bandes le long des vallées des dépôts limoneux argileux noirs, puis des sables.
- Le Moulouyen : ce sont des limons rouges associés à une croûte rouge parfois dure, représentant les collines du fond sud de la plaine avec parfois des dalles calcaires.
- Le Salétien : ce sont des formations essentiellement conglomératiques de galets hétérométriques centimétriques à décimétriques, rarement libres, reliés le plus souvent par un ciment argilo-carbonaté. Les galets sont essentiellement calcaires et grès rouges provenant directement des matériaux de destruction du Jurassique et du Crétacé. Ces dépôts occupent les anciennes vallées des oueds Mekerra et Lamtar qui ont raviné le Moulouyen.
- Le Tensifien: en bordure des oueds (Mellinet, Bou Khanefis, Sidi Khaled), on observe des formations graveleuses, encroûtées et surmontées d'un alluvionnement plus terreux.

3.2. Tertiaire

- Le Pliocène : Pendant toute la durée du Pliocène la plaine est restée exondée ce qui a permis les dépôts d'épaisses couches continentales. On observe un conglomérat de base puis des sédiments plus fins sableux et gréseux alternant avec des limons rouges, contenant des petites lentilles de conglomérats. A la fin du Pliocène un intense épisode torrentiel permet le dépôt de conglomérats.

- Le Miocène: C'est l'assise imperméable argilo-marneuse des aquifères de la plaine. A l'Est, on rencontre des marnes grises et des grès argileux datés du Vindobonien (Miocène moyen et la base du Miocène supérieur). Ces argiles marneuses marines ont comblé toutes les dépressions du substratum mésozoïque, leur épaisseur peut dépasser 500 mètres. Elles apparaissent entre 25 et 50 mètres de profondeur sous la plaine.

Elles contiennent quelques petits épisodes régressifs de galets et graviers enrobés d'argile.

- L'Oligocène : Il forme un ensemble de marnes parfois gypseuses grises, jaunes et vertes s'alternent avec des bancs métriques de grès à grains fins et à ciment calcaire. Cette formation correspond à l'Oligo-Miocène des terrains nappés du Tessala.

- L'Eocène supérieur et moyen : Ce sont des calcaires durs, massifs, bien lités, percés de la piez, pétris de fossiles (Ostracées, pectinides, échinides, thalles de lithothamnium). Cette formation très érodée appartient aux nappes de charriage. Elle repose en contact anormal sur le Miocène anté-nappe ou le Crétacé, elle est recouverte en concordance par l'Oligo-Miocène nappé.

3.3. Secondaire

Crétacé moyen et supérieur : On rencontre dans le Tessala, des marnes gypseuses accompagnées de bancs de calcaires sombres et de calcaires gréseux peu épais. A la base apparaissent les roches salifères triasiques qui constituent la semelle des nappes de charriage.

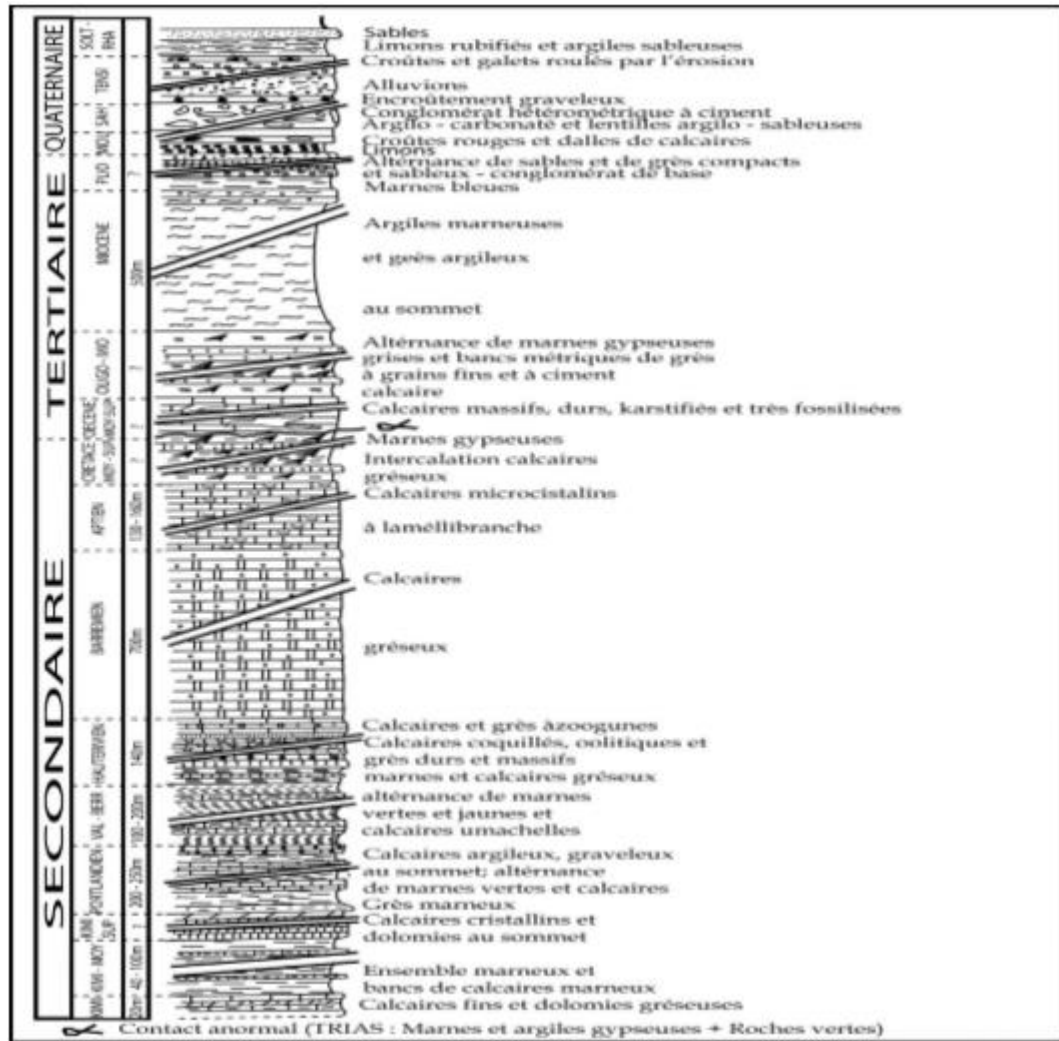


Figure2.3 : Log litho stratigraphique synthétique de la plaine de Sidi Bel Abbes(Sourisseau, 1973)

La forme allongée du bassin versant, la faiblesse de la pente et fragilité du sol lié à l'irrégularité du couvert végétal sont autant de facteurs qui favorisent le phénomène de l'érosion et de la sédimentation dont les conséquences se manifestent par l'inondation de plusieurs localités situées dans la plaine (Cherifi,2017).

3.4. Tectonique

Il existe deux styles tectoniques bien distingués dans le bassin versant de la Mekerra :

Au Nord, Les phénomènes de charriage ont permis à l'Oligo-Miocène, avec son front de lambeaux de calcaires éocènes, de recouvrir les terrains autochtones indifférenciés d'âge crétacé moyen et supérieur. Ceux-ci reposent sur le Miocène moyen marin anti-nappe.

Au Sud, les terrains karstiques peu plastiques, légèrement ondulés, donnent une tectonique cassante très prononcée, représentée sous forme d'accidents verticaux et subverticaux, sans doute le reflet des déformations du socle, découpant le massif en deux directions (D. Auclair et J. Biehler, 1967):

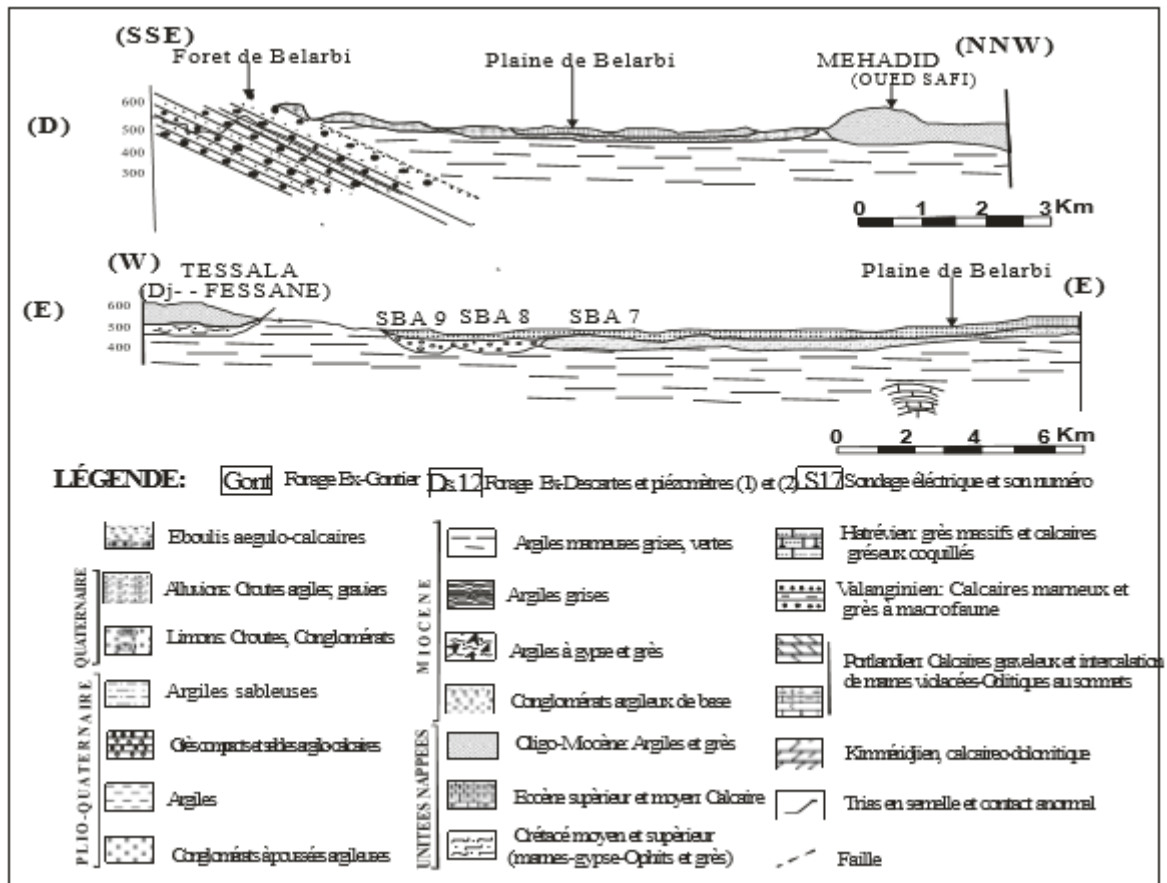


Figure 2.4 : Coupes géologiques de la plaine de Sidi Bel Abbes (B Sourisseau, 1972)

- WSW-ESE : Accidents effondrant en marches d'escalier le substratum jurassicocrétacé dans la plaine de Sidi Bel Abbes.
- ESE-WNW : Accidents obliques délimitant des panneaux en horsts et grabens. A l'Ouest, une cassure nette sépare les formations plio-quaternaires de la plaine alluviale des formations mésozoïques des hauts plateaux (G. Thomas. 1985). A ces deux styles tectoniques, s'ajoute une activité tectonique récente qui se manifeste essentiellement par :
 - La déformation du Miocène,
 - Une faille dont le rejet peut atteindre 10 m au contact Pliocène continental –Plio-Quaternaire
 - Une faille à faible rejet dans les conglomérats quaternaires des terrasses de l'Oued Tissaf.

4. Contexte hydrogéologique

4.1. Les différents types d'aquifère dans la plaine de Sidi Bel Abbés

La région de Sidi Bel Abbés est caractérisée par la présence de cinq aquifères à savoir:

- Les calcaires de Zigyne (Aptien) de la forêt domaniale de Belarbi
- Les calcaires et dolomies jurassico-crétacés des monts de Sidi Ali Ben Youb
- Les calcaires éocènes de Sidi Ali Boussidi
- Les grès pliocènes de la forêt de Ténira

4.2. La nappe alluviale du Plio-quaternaire de Sidi Bel Abbés.

Cette dernière acquiert un intérêt particulier du fait que tous les autres horizons perméables sont en communication hydraulique, directe ou indirecte, avec celle-ci.

Le remplissage argilo-sableux contient une nappe souvent exploitable dont le débit des eaux est proportionnel aux pourcentages d'éléments sableux et argileux présents. Le chenal conglomératique situé entre Lamter, Sidi Khaled, Sidi Lhassen et Sidi Bel Abbés, le long des oueds Tissef et Mekerra constitue la nappe aquifère la plus riche de la plaine de Sidi Bel Abbés (yousfi ,2008) .

4.3. La nappe alluviale plio-quaternaire de Sidi Bel Abbés :

d'une superficie de 730 km² (ABTOUT, 2013) est contenue exclusivement dans les formations d'âge plio-quaternaire et quaternaire. Ces dernières remplissent la grande vallée alluviale de Sidi Bel Abbés et sont le siège d'un écoulement souterrain transitant principalement par les alluvions plus ou moins cimentées et les conglomérats des chenaux transmissifs (SOURISSEAU, 1973). Ils forment une nappe libre à l'exception de quelques niveaux conglomératiques du chenal aquifère entre Sidi Khaled et Sidi Bel Abbés dans lesquels la nappe devient semi-captive (ABTOUT, 2013). L'alimentation de la nappe se fait suivant trois processus : alimentation directe par la pluie (environ 60 hm³/an) (direction d'hydraulique de Sidi Bel Abbés, 2015) ; alimentation par les aquifères adjacents, soit par infiltration latérale directe soit par l'intermédiaire des sources, dont les eaux s'infiltrent ensuite dans les alluvions ; alimentation par les oueds principalement en période de crue, sauf pour l'oued Tissaf qui a une perte constante d'environ 300 l/s près de Sidi Khaled.

À l'exception des eaux de la nappe située à l'Ouest hors du bassin versant hydrogéologique, l'eau transitée par la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbés ressort exclusivement au lieu-dit le Rocher principalement par l'oued Mekerra et en faible partie un inféro flux dans les alluvions évaluées par ANRH à 5 hm³/an (BENTEKHICI,2017).

4.4. Nappe des grès pliocènes de la forêt de Tenira :

Cet aquifère est constitué de formations conglomératiques à la base, puis de grès sableux à teneurs en argiles variables, alternant avec des limons rouges et des conglomérats du Pliocène continental et repose sur les marnes grises du Miocène supérieur continental constituant ainsi son substratum.

Les grès du Pliocène de la forêt de Tenira sont limités à l'Est par les calcaires de Zigyne et au Sud par le Miocène supérieur continental. Ils contiennent une nappe discontinue alimentée exclusivement par son impluvium et qui elle-même alimente la nappe alluviale principalement par l'intermédiaire de petites vallées étroites qui jouent un rôle de drain grâce à leur remplissage alluvionnaire (CHERIFI,2017).

4.5. Nappe des calcaires éocènes de Sidi Ali Boussidi (nappe des terrains charriés) :

Cet aquifère est constitué essentiellement par un calcaire gris-bleu, dur, massif, bien lité et percé de lapiaz. Il repose anormalement sur des formations du Miocène moyen marin et du Crétacé moyen-supérieur autochtones qui affleurent au NW du bassin versant sous forme de marnes salifères et de calcaires. Il est surmonté par les unités allochtones de l'Oligo-Miocène, composées de marnes grises avec quelques bancs de conglomérats, constituant ici l'essentiel des nappes de Tessala.

Cette nappe est entièrement drainée par des sources dont les plus importantes sont : Ain El Hadjar, Ain Anefress et Ain Meddah. Ces sources déversent soit directement dans les alluvions, soit sur le Miocène marneux pour se ré-infiltrer ensuite dans les alluvions de l'Oued Anefress. Malgré de bonnes caractéristiques hydrodynamiques, ces calcaires n'ont en raison de leur faible impluvium qu'une importance limitée (D. Auclair et J. Biehler, 1967).

La disposition structurale de cet aquifère est bien définie. Les phénomènes de charriage ont permis à l'Oligocène avec son front de lambeaux de calcaire éocène de recouvrir les terrains autochtones indifférenciés d'âge crétacé moyen et supérieur. Ceux-ci reposent sur le Miocène moyen anténappe (CHERIFI,2017).

4.6. Nappe des calcaires et dolomies jurassico-crétacés de Sidi Ali Ben Youb :

Situés dans la partie sud du bassin hydrologique, les formations épaisses de calcaires et dolomies jurassico-crétacés (calcaire de Remaila, dolomie de Tlemcen) qui présentent des intercalations marneuses reposent sur les argiles du Trias et sont surmontées par les formations éocènes. Cet ensemble de faciès (faciès dolomitique bien karstifié, faciès calcaire fissuré, faciès marneux) est hydro-géologiquement peu connu. Nous pensons qu'il serait

vraisemblable de le considérer comme un aquifère unique, les zones de bonne perméabilité étant probablement en relation avec les nombreux accidents responsables de la structuration en marches d'escalier WSW-ENE qui affectent le substratum jurassico-crétacé. L'infiltration directe des précipitations constitue sa principale source d'alimentation. Cette nappe est drainée par plusieurs sources dont les plus importantes sont : Ain Mekhareget Ain Skhouna qui se déversent dans l'Oued Mekerra(CHERIFI,2017).

4.7. Nappe des calcaires de Zygone (Aptien) de la forêt de Belarbi :

Formée de calcaires fissurés, cet aquifère est hydro-géologiquement encore mal connu. Elle a été captée par des forages de Baudin et celui de CaidBelarbi réalisés en 1987 à proximité des affleurements (14l/seconde). Cette nappe est alimentée directement par son impluvium (BENTEKHICI,2018).

4.8. RESEAU HYDROGRAPHIQUE :

La plaine de Sidi Bel Abbés est traversée du sud vers le nord par l'oued Mekerra. Son cours, plus ou moins rectiligne dans les Monts de Saïda, régime semi-torrentiel, devient sinueux dès son entrée dans la plaine. Au niveau de la ville de Sidi Bel Abbés, l'écran imperméable que forment les monts du Tessala oblige la rivière à s'incliner de 90° pour trouver plus loin un exutoire vers le nord au lieu-dit 'Le Rocher' (B. SOURISSEAU, 1973). En aval, la topographie s'inverse et le lit de l'oued entaille profondément la nappe alluvionnaire.

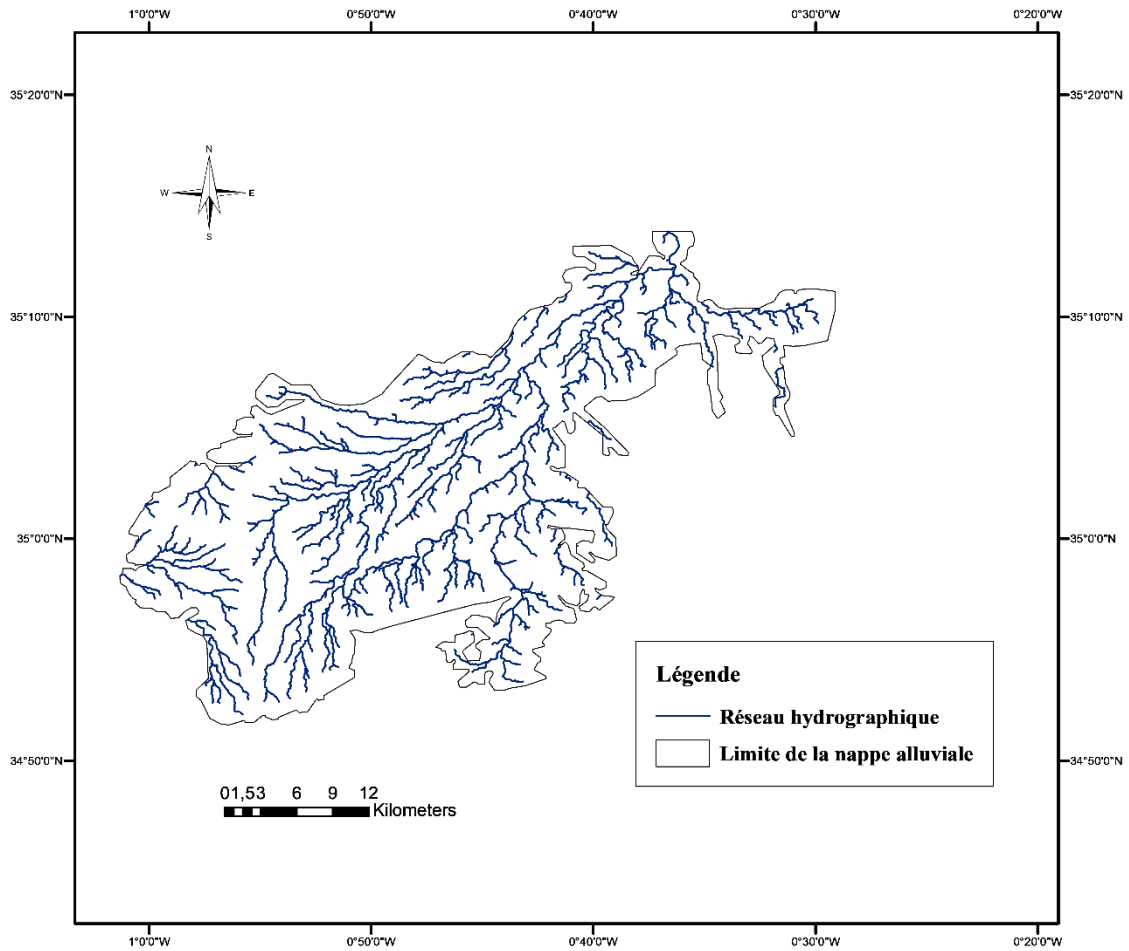


Figure2.5 :Réseau hydrographique plaine de Sidi bel abbés

5. Climatologie et Occupation du sol

5.1. Le climat :

Le climat, c'est l'ensemble des phénomènes météorologiques observés dans le passé et qu'on s'attend d'observer encore sur une longue période (Cherifi,2017).

5.2. Etude des précipitations

5.2.1 Précipitations annuelles

Tableau2.1 : Précipitations moyennes annuelles (1980-2016)

Années	1980/1981	1981/1982	1982/1983	1983/1984	1984/1985	1985/1986	1986/1987
P (mm)	290.1	98.9	399.5	223.2	475	309.9	226.9
Années	1987/1988	1988/1989	1989/1990	1990/1991	1991/1992	1992/1993	1993/1994
P (mm)	254	269.5	303.8	285.7	218.3	184.6	238.1
Années	1994/1995	1995/1996	1996/1997	1997/1998	1998/1999	1999/2000	2000/2001
P (mm)	453.7	197.9	196.2	394.8	125.1	313.9	340.5
Années	2001/2002	2002/2003	2003/2004	2004/2005		2006/2007	2007/2008

2005/2006							
P (mm)	453.9	239.3	198.4	359.5	362.1	167.7	366.5
Années	2008/2009	2009/2010	2010/2011	2011/2012	2012/2013	2013/2014	2014/2015
P (mm)	589.4	375.7	379.9	282.7	435.3	404.4	452
Années	P moy=309.7 mm						
	2015/2016						
P (mm)	290.4						

(Station météorologique Sidi Bel Abbes)

5.2.2 Précipitations mensuelles

Tableau2.2 : Précipitations moyennes mensuelles (1980-2016)

mois	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février
P (mm)	15.2	26.2	49.1	38.5	42.5	40.4
mois	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout
P (mm)	35.7	31.3	19.8	6.4	1.5	3.1

(Station météorologique Sidi Bel Abbes)

5.2.3 Précipitations Saisonnière

Tableau2.3 : Répartition des précipitations saisonnières

Saisons	Hiver	Printemps	Eté	Automne
Mois	Décembre	Mars	Juin	Septembre
correspondants	Janvier	Avril	Juillet	Octobre
	Février	Mai	Aout	Novembre
P (mm)	121.4	86.8	11.0	90.5

(Station météorologique Sidi Bel Abbes)

5.3. Température

Tableau2.4 : température moyennes mensuelles (1980-2016)

mois	Septembre	Octobre	Novembre	Décembre	Janvier	Février
T(°c)	23.33	18.01	13.15	10.2	8.85	10.08
mois	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout
T(°c)	12.61	14.62	19.03	23.24	26.81	26.5

(Station météorologique Sidi Bel Abbes)

5.4. Occupation du sol

5.4.1. Agriculture :

L'agriculture au Sidi Bel-Abbès se caractérise par une double vocation :

- Agricole au nord soit au niveau des plaines et sur les bas piémonts
- Sylvopastorale sur les différents massifs et au niveau des hautes plaines steppiques du sud de la wilaya.

Elle dispose aussi d'importantes potentialités animales diversifiées à dominance gros élevage (ovin et bovin) ainsi que d'un réseau d'appui et de soutien de la production et de la transformation des produits agricoles et animaliers (ANDI, 2013).

5.4.2. Indice de végétation (NDVI):

L'indice de végétation (NDVI) : L'indice végétale est l'un des indicateurs biophysiques très importants pour l'évaluation de l'érosion des sols, ce qui permet de délimiter la distribution de la végétation et du sol en fonction des modèles de réflectance caractéristiques de la végétation verte Indice de végétation à différence normalisée . NDVI) est un indice important pour évaluer l'état de la végétation (Sar et al., 2016). L'état de la végétation à un moment donné de sa croissance est influencé par des interactions complexes entre les conditions météorologiques, l'humidité du sol et les types de sols et de cultures. L'indice est dérivé du satellite (Le NDVI peut prendre des valeurs comprises entre -1 et +1 (sol: généralement 0,1–0,4, végétation: 0,2–0,9). Pour notre cas d'étude la valeur de l'NDVI varie entre -0,3 à 0,6

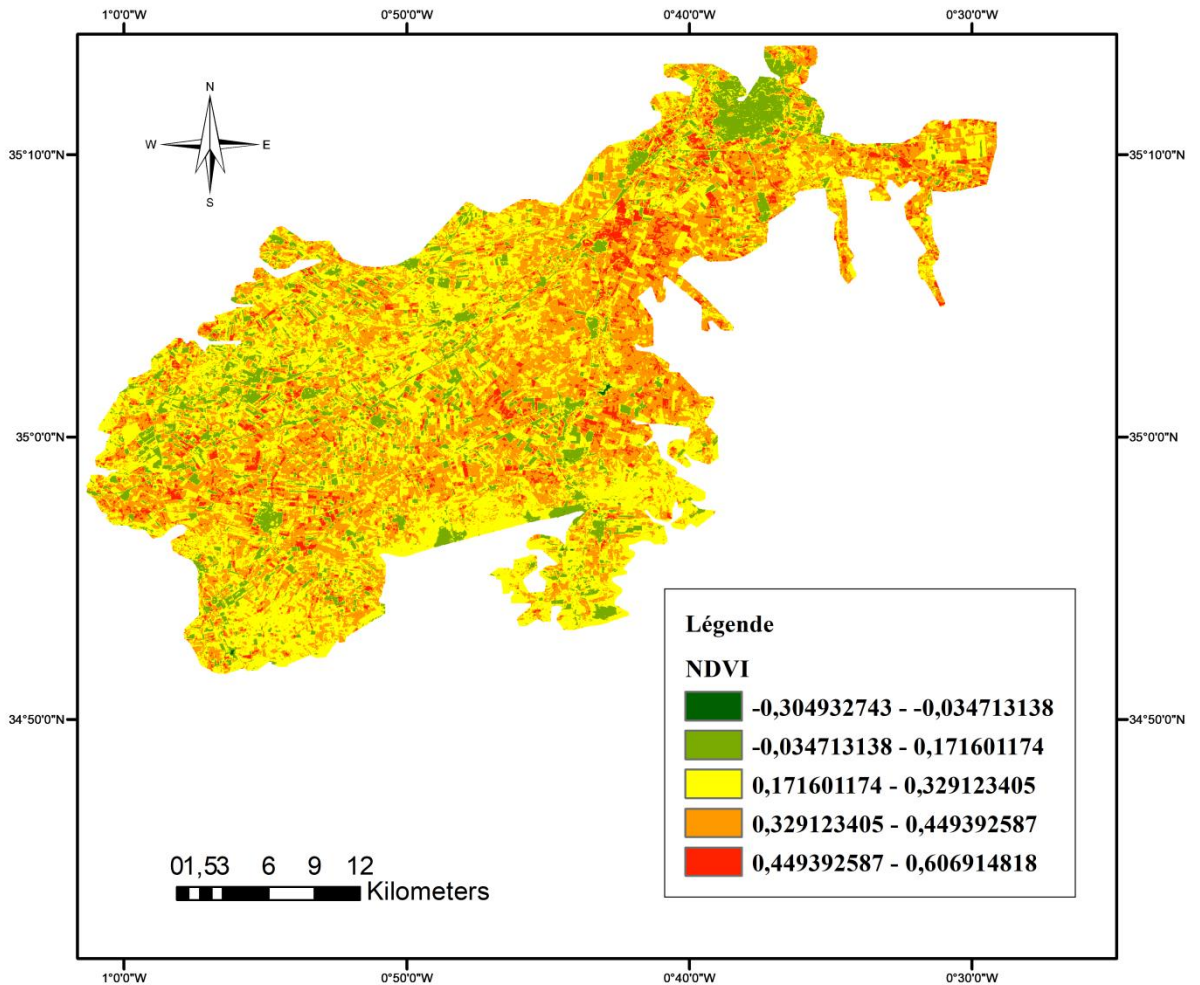


Figure 2.6 : L'indice de végétation par différence normalisée

5.4.3. Lithologie

La texture de sol dans la plaine est composée par quatre types, la majorité de surfaces divise par le limon et le limon argileux et le reste c'est argile et limon argileux sableux.

5.4.4. Industrie :

Le tissu industriel demeure concentré à hauteur de 85% au niveau du chef-lieu de wilaya et reste dominé par l'électronique, représentée par l'ENIE; par la mécanique, représentée par le CMA/PMA et par la branche agro- alimentaire, représentée par l'E.R.I.A.D et OROLAIT et 64 unités industrielles dont 34 comptent plus de 10 salariés (Agence Nationale de développement de l'Investissement).

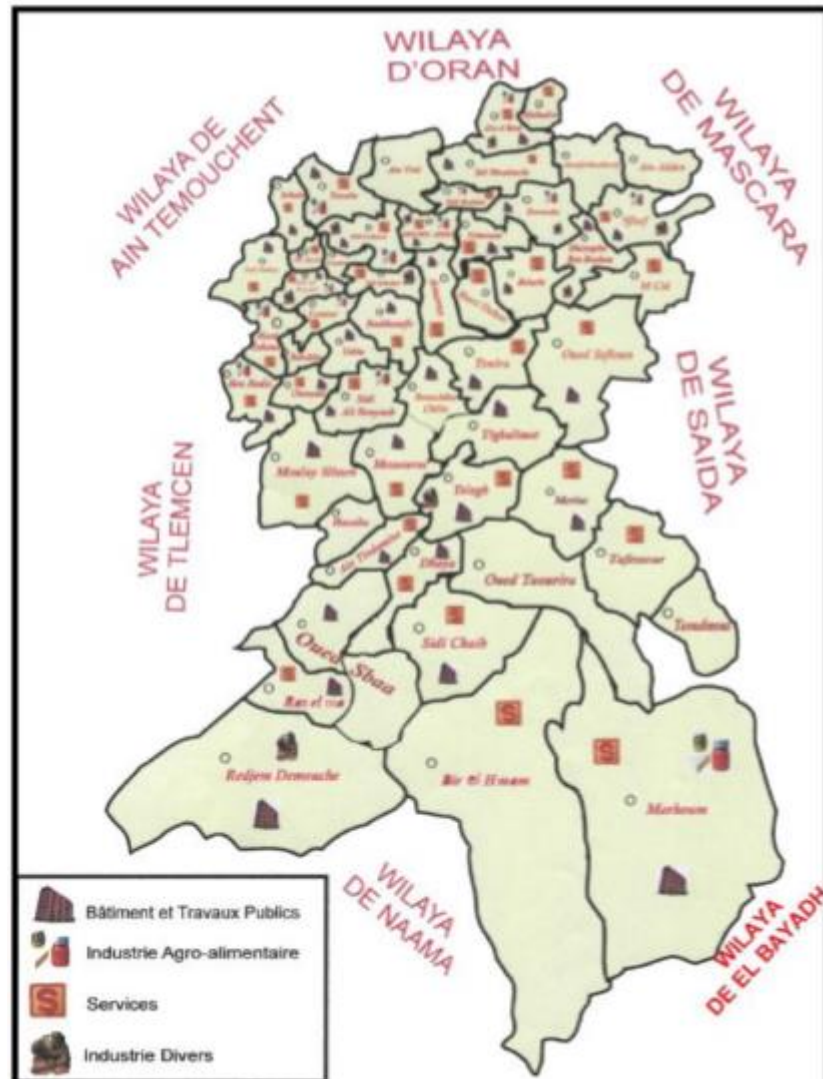


Figure 2.7 : Les activités industrielles dans la wilaya de Sidi Bel Abbès

6. La carte de nitrate

Le nitrate NO_3^- est considéré comme un agent polluant pour les eaux, son origine naturelle, industrielle ou agricole. Les engrais agricoles azotés sont riches de nitrate; la concentration de nitrate dans l'eau est 50mg/l selon l'organisation mondiale de la santé (OMS). Dans notre zone d'étude, on observe que la concentration de nitrate est très élevée ($>50\text{ mg/l}$) dans la partie nord-est de la plaine par contre les périmètre de la ville de sidi ali ben youb, dans la partie sud-ouest la concentration de nitrate est presque selon les normes ($\geq 50\text{mg/l}$)

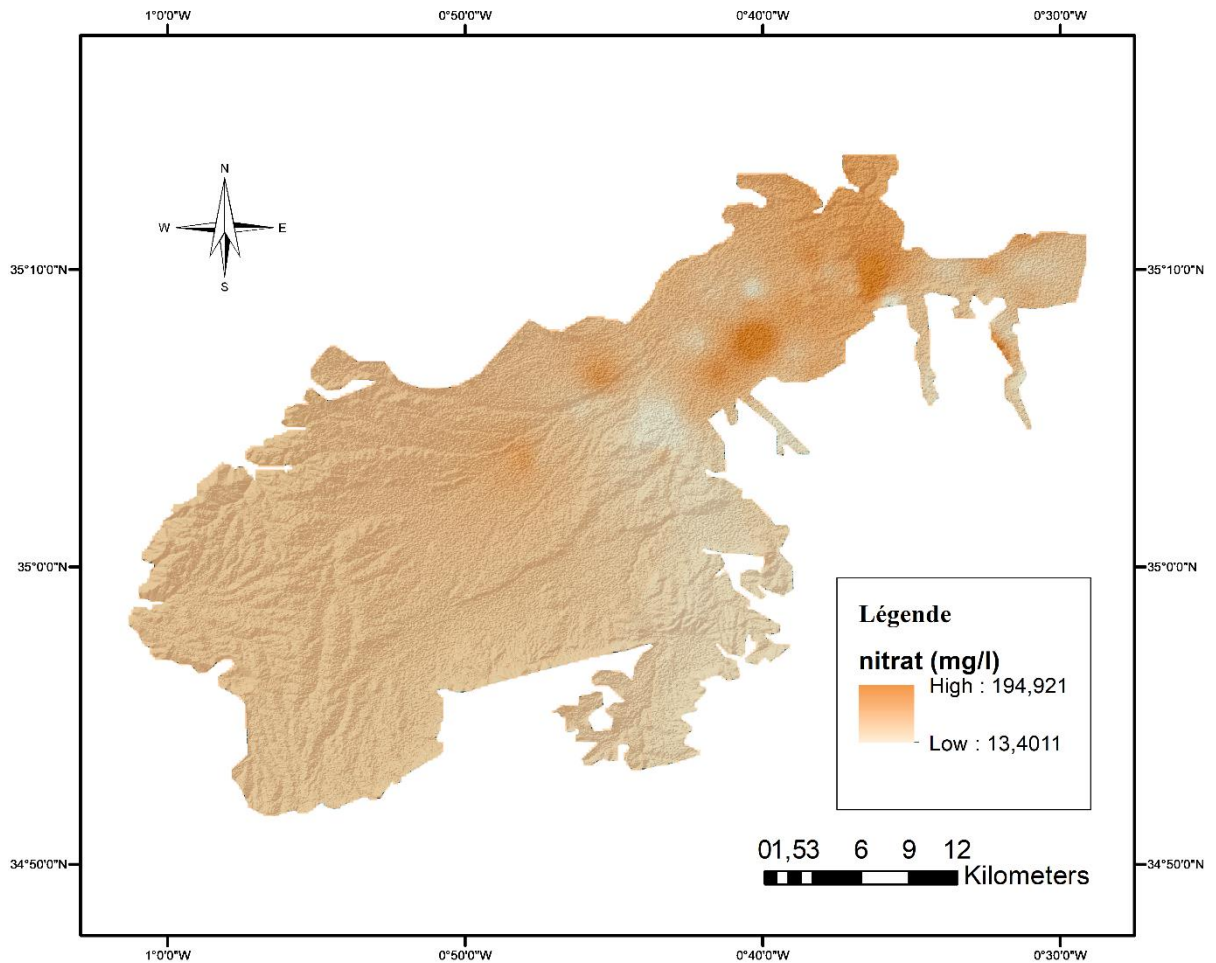


Figure 2.8 : carte de nitrat

7. Les sources de pollution

La plaine de sidi bel abbés contient beaucoup de sources de pollutions comme
 Pollution industrielle: Les activités industrielles sont localisées dans la zone industrielle au niveau de la ville Sidi Bel Abbés; elle est parmi les plus grandes zones sur le territoire Algérien, La zone industrielle utilise un volume considérable d'eau évacuée dans le réseau domestique à plus de 80 %.

Pollution eaux usées : selon direction d'hydraulique sidi bel abbes la zone reçoit les eaux usées de 19 points reparties sur toute la superficie de notre zone etude (équivalent de 190 l/s)

Pollution de décharge publique : 7 lieu de décharge au niveau de 7 ville (sidi bel abbes, Boukhenefis, Benbadis...)

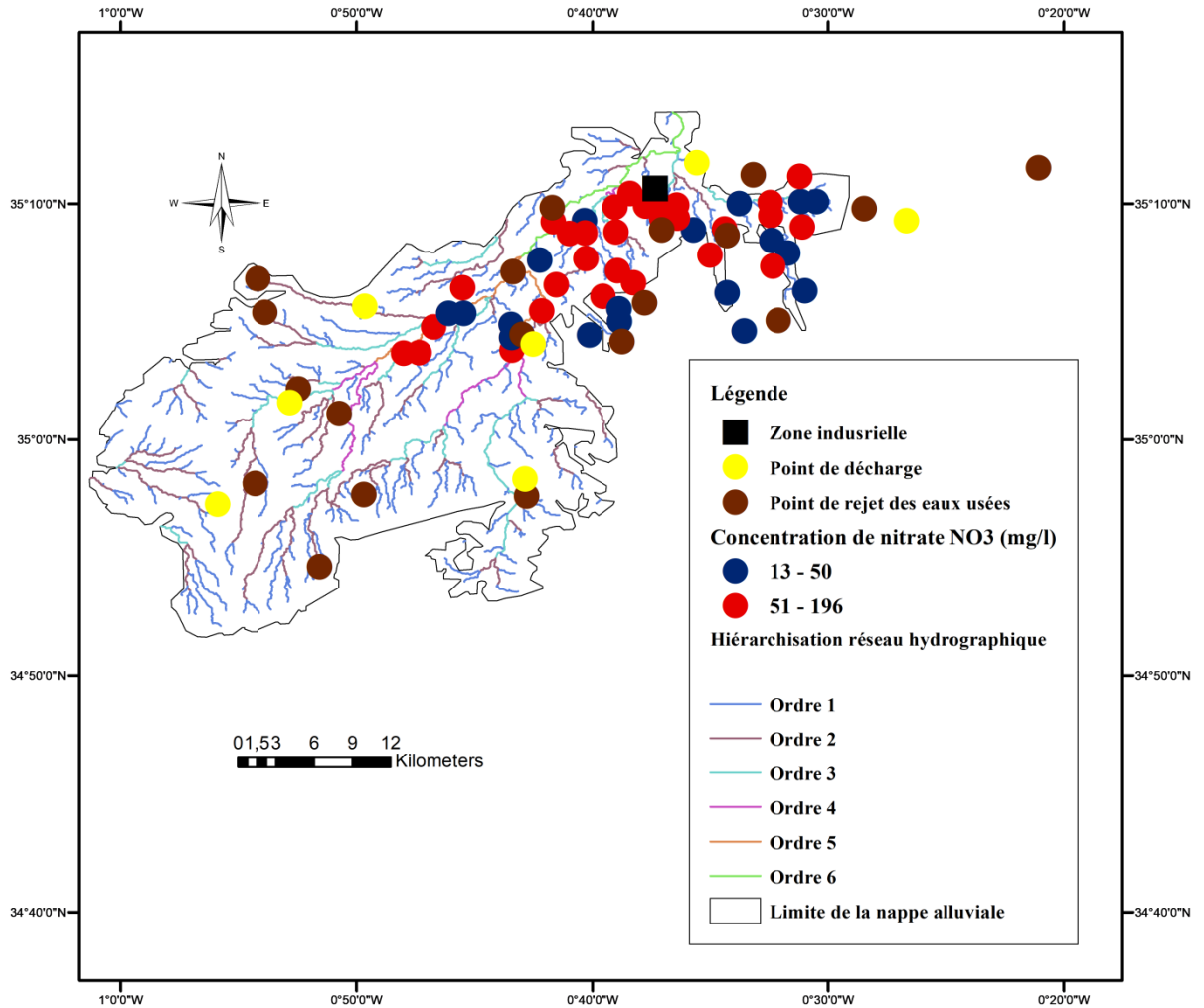


Figure 2.9 : la carte de distribution de point de source de pollution

8. Méthodologie

La méthodologie présente dans cette étude a été construite de manière à intégrer les méthodes SI ,DRASTIC, et le système d'informations géographiques, ainsi que l'utilisation des données de la télédétection (Figure). Dans cette étude nous avons considéré les facteurs les plus influents sur l'évolution le risque de pollution , à savoir .pente, occupation des sols, type de sols, profondeur, zone non saturé, conductivité hydraulique, recharge nette et le type de milieu aquifère. Chacun de ces facteurs a été exprimé et généré à l'aide de l'environnement du SIG sous forme d'une carte thématique.

8.1. Définition :

Un système d'information géographique (SIG) est souvent décrit comme un système consistant en un ensemble de matériel informatique, de logiciels, de données géographiques et de personnel, conçu de façon à permettre de façon efficace la collecte, le stockage, la mise à

jour, la manipulation, l'analyse et l'affichage de toutes formes d'informations à référence spatiale (WEEKLY EPIDEMIOLOGICAL RECORD)

8.2. Les composants d'un SIG :

Selon ESRI France (ESRI, 2018) un Système d'Information Géographique est composé de :

- Matériel informatique (hardware) :

Les SIG marchent sur une très grande panoplie d'ordinateurs (pc de bureaux raccordés en réseau ou exploités de manière autonome).

- Logiciels (software)

Les logiciels de SIG offrent les outils nécessaires pour sauvegarder, examiner et visualiser l'information géographique.

- Données (Information Géographique)

Les données constituent la composante maîtresse des SIG. L'information géographique peut, soit être constituée en interne, soit acquise auprès reproducteurs de données.

- Personnel formé

Un SIG étant avant tout un outil, donc c'est à l'utilisateur « expert en SIG » de l'exploiter. Il faut signaler que les SIG sont élaborés d'une manière qui leurs permettent d'être manipulés par plusieurs types d'utilisateurs, depuis ceux qui créent et maintiennent les systèmes, jusqu'aux utilisateurs de logiciel pour le traitement de l'information géographique. Actuellement, grâce à l'accession des SIG sur Internet, le nombre d'utilisateurs de SIG s'agrandit de façon importante.

8.3. Les fonctionnalités d'un SIG :

Les SIG sont créés pour répondre à différentes demandes et comme le système commun n'existe pas, il faut les ajuster selon les objectifs établis. Néanmoins i faut dire qu'il y'a 5 fonctionnalités « on les appelle les 5A » que tous les SIG doivent assurer :

- **Abstraire** : Concevoir un modèle qui arrange les données par constituants géométriques et par attributs descriptifs, et qui permet aussi d'établir des relations entre les objets.
- **Acquérir** : Le logiciel doit posséder des fonctionnalités de digitalisation et d'importation de données.
- **Archiver** : Le logiciel doit avoir une grande capacité de stockage des données.
- **Analyser** : Capacité d'analyser les données géographiques (méthodes quantitatives et statistiques, opérateurs topologiques, etc.).

- **Afficher** : Capacité d'affichage de l'information géographique sous forme de Cartes, tables, graphes, etc.

8.4. Les données dans les SIG :

Les données géographiques possèdent quatre composantes :

- Les données géométriques : renvoient à la forme et à la localisation des objets ou phénomènes ;
- Les données descriptives : (qui font partie des données attributaires) renvoient à l'ensemble des attributs descriptifs des objets et phénomènes à l'exception de la forme et de la localisation ;
- Les données graphiques : renvoient aux paramètres d'affichage des objets (type de trait, couleur...)
- Les métadonnées associées : c'est-à-dire les données sur les données (date d'acquisition, nom du propriétaire, méthodes d'acquisition...).

8.5. Objet géographique ou données spatiales

Les données spatiales sont généralement sous forme de couches d'information issues de carte thématique, qui peuvent décrire entre autres: la topographie, la disponibilité en eau, la nature du sol, le couvert végétal, le climat, la géologie, la population, etc. (FAO, 1998). Selon Habert (2000) un objet géographique peut être représenté soit en format raster (maillé en français) soit en format vectoriel.

▪ Le format raster

Ici la réalité est décomposée en une grille régulière et rectangulaire, organisée en lignes et en colonnes, chaque maille (Pixel) de cette grille ayant une intensité de gris ou une couleur. La juxtaposition des points recrée l'apparence visuelle du plan et de chaque information. Une forêt sera "représentée" par un ensemble de points d'intensité identique.

▪ Le format vectoriel

Les limites des objets spatiaux sont décrites à travers leurs constituants élémentaires, à savoir les points, les arcs, et les arcs des polygones. Chaque objet spatial est repéré par des coordonnées (X, Y) et doté d'un identifiant qui permet de le relier à une table attributaire.

- Les points : Ils définissent des localisations d'éléments séparés pour des phénomènes géographiques trop petits pour être représentés par des lignes ou des surfaces qui n'ont pas de surface réelle comme les points cotés.

- Les lignes : Les lignes représentent les formes des objets géographiques trop étroits pour être décrites par des surfaces (ex : rue ou rivières) ou des objets linéaires qui ont une longueur, mais pas de surface comme les courbes de niveau.
- Les polygones : Ils représentent la forme et la localisation d'objets homogènes comme des pays, des parcelles, des types de sols...

8.6. Données attributaires

Selon la FAO (1998), La donnée attributaire ou descriptive se présente sous forme de statistiques ou de données alphanumériques telles que la pente, le type de sol, le couvert végétal, etc. Cette information est structurée sous forme de table attributaire.

9. Modèle DRASTIC

Dans le cadre de ce travail, la cartographie de la vulnérabilité à la pollution sera effectuée par l'application du modèle DRASTIC, établie par (allaert et al,1987), ce dernier est sélectionné parmi les modèles les plus applicables grâce à sa structure très simple, ces données disponibles et l'échelle de l'investigation. En effet, l'usage de cette équation à l'échelle de la nappe d'eau souterraine dans le monde est très remarquable surtout dans les pays d'Afrique (saheed et al. 2017, Bantekhici.N et al. 2017, saheed et al. 2020, ...).

10. Modèle SI (susceptibilité index)

En parallèle, le modèle SI est la version modifiée du modèle DRASTIC développé au Portugal par L. RIBEIRO en (2000); ce modèle prend en considération Cinq paramètres qui sont le paramètre de l'occupation du sol (Land use) et Quatre (D, R, A et T) qui sont communs à la méthode DRASTIC; ce modèle est considéré comme l'un des modèles utilisés pour une extraction facile des données(M. Batchi et al.2019,[M. Madi](#)et al.2010,.....)

Conclusion

La présence des ressources souterraines a conduit à l'exploitation du plateau dans diverses industries, y compris chimiques.

L'étude climatique a été élaborée en se basant sur une série de mesures correspondant à une période de 36 ans d'observation (de 1980/2016).

Toutes ces variations climatiques sont liées au caractère du climat méditerranéen, et ils indiquent que le climat de Sidi Bel Abbes de type semi-aride.

La nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbes est alimentée par infiltration directe de pluie saisonnière.

Chapitre 3

Introduction

L'objet principal de ce chapitre est de développer un outil d'aide à la décision à l'aide le modèle DRASTIC et SI pour apporter des solutions aux problèmes de gestion des risques de pollution des nappes avec une application au cas de la nappe de sidi bel Abbés .A cette fin la structure de la méthodologie proposée pour évaluer/identifier les zones à risque a été mise en œuvre en se basant sur deux étapes essentielles à savoir :

1. Modèle DRASTIC :

le modèle DRASTIC utilise sept paramètres pour l'évaluation de la vulnérabilité par une équation ID(indice DRASTIC). L'équation a été intégrée sous un système d'information géographique en fonction de nombreux facteurs, tel qu'indiqué dans les équations suivantes, afin de permettre une modélisation et une cartographie exhaustive de la vulnérabilité

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

où c et p représentent respectivement la note et le poids attribués à chaque paramètre voir le tableau 3.1

OU

D : la profondeur de la nappe en mètre (m)

R : la recharge nette de la nappe (mm/a)

A : le milieu aquifère

S : type de sol

T : la pente en degrés

I : La zone vadose ou la zone non saturée

C : la conductivité hydraulique (m/s)

Tableau 3.1 : les facteurs du modèle DRASTIC

facteur	symbole	Source	poids
Profondeur de la nappe	D	Interpolation des données de forage réalisées dans la zone d'étude (ANRH)	5
Recharge nette	R	Station météorologique et travaux personnels de N.bentekhici et al 2017	4
Type de milieu aquifère	A	les logs et les coupes lithologiques des forages réalisés dans la zone d'étude	3

		et la carte hydrogéologique N.bentekhici et al 2017	
Type de sol	S	Les classes de Texture du sol (USDA system) de 6profondeur de sol (0, 10, 30, 60, 100 et 200 cm) à 250 m	2
La pente topographique	T	MNT(DEM) et traitement en ARC MAP	1
La zone non saturée	I	Donnée des coupe de forage (L.About2013) et interpolation avec arc gis	5
La conductivité hydraulique	C	Donnée de forage (L.About2013) et interpolation avec Arc gis	3

2. Extraction des paramètres

2.1. La profondeur de la nappe :

La profondeur de la nappe représente la distance verticale entre la cote piézométrique supérieure de la nappe et la cote de terrain naturelle ou on peut dire que la profondeur de la nappe c'est l'épaisseur de la zone non saturée. Les données du paramètre profondeur de la nappe (D) sont établies à partir des relevés du niveau statique relatif aux forages et puits et aux piézomètres implantés dans la région.

Tableau 3.2 : les données relatifs a la profondeur de la nappe (ANRH 2010)

Enchantions	X	y	Z	Profondeur(m)	piézomètre
1	-0.76515133	35.0899563	537.672	7.62	533.17
2	-0.66089485	35.2079803	476.925	10.21	470.49
3	-0.65904018	35.176909	481.814	10.17	475.24
4	-0.68700135	35.1625821	503.686	33.13	474.07
5	-0.6648298	35.1708811	486.638	19.83	470.37
6	-0.64340767	34.4610955	490.492	9.35	480.47
7	-0.71289966	35.1902579	519.047	19.79	502.93
8	-0.80620794	35.1126568	581.772	3.13	581.87
9	-0.80687728	35.0652726	585.044	13.65	574.44

10	-0.50107205	35.1501528	530.557	22.1	511.9
11	-0.71736852	35.1147993	523.76	25.34	501.66
12	-0.61758633	35.1708581	473.658	6.71	470.51
13	-0.70153231	35.129689	514.975	29.84	488.46
14	-0.71495626	35.0711145	512.01	15.79	499.21
15	-0.65654396	35.1436006	499.595	27.37	475.36
16	-0.63745223	35.2388632	456.928	6.32	454.56
17	-0.80943246	35.1486488	571.566	5	570
18	-0.74905723	35.0985451	536.853	11.16	528.84

A l'aide de la méthode Natural break, on classe la profondeur par cinq classes de 4.5 à 50 m

D'après la carte de profondeur on remarque que les grandes profondeurs repartie dans le sud-ouest et au nord-est, par contre les petites profondeurs sont dans le sud-ouest et dans le centre.

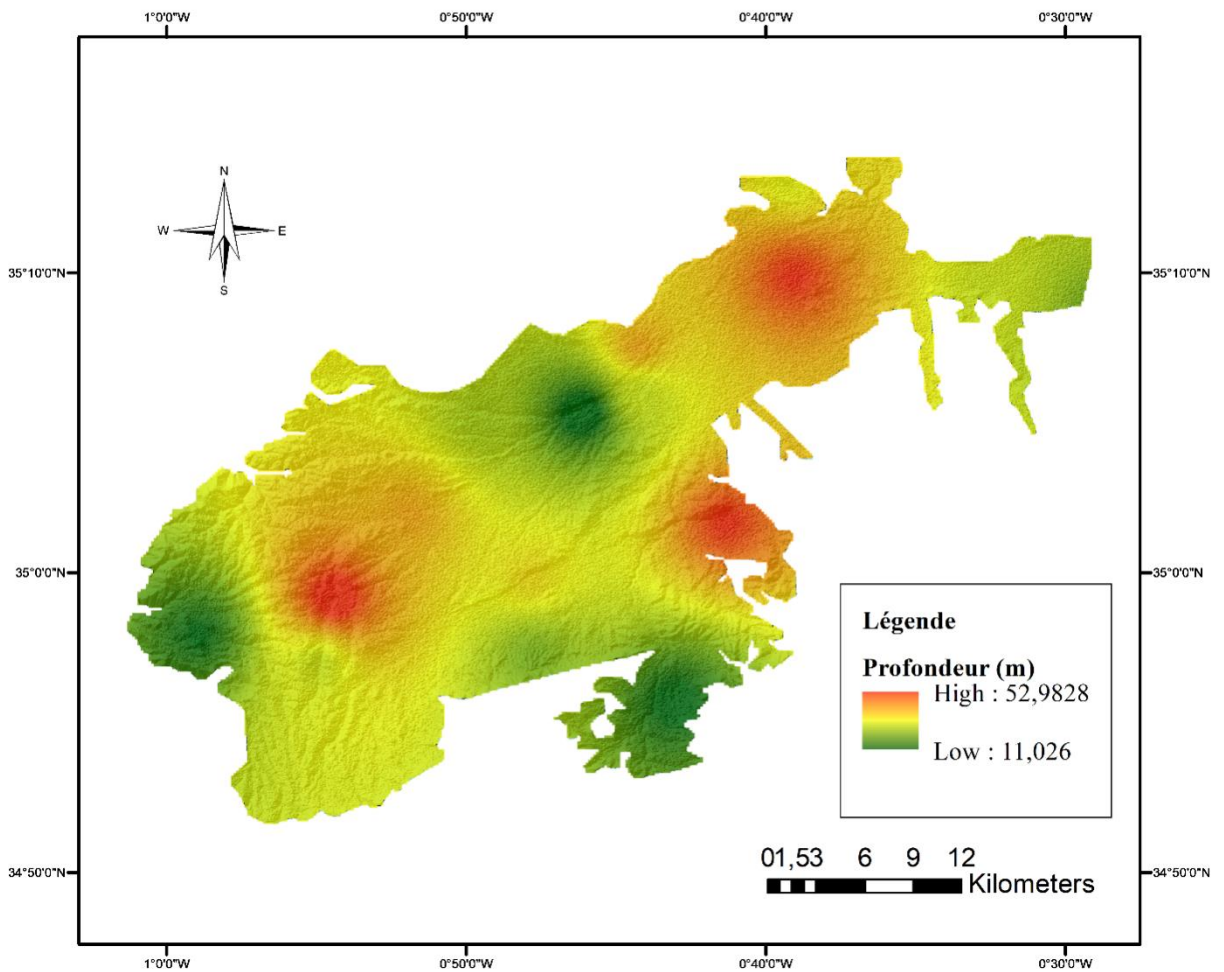


Figure 3.1 : la carte de profondeur

La carte de profondeur en figure 3.1 représente un paramètre important pour l'évaluation de la vulnérabilité à la pollution. Elle donne une idée sur les zones de faible protection contre les polluants. On peut dire que la profondeur représente aussi la distance traversée par l'agent de pollution de la surface du sol pour atteindre la nappe d'eau.

2.2. La recharge nette :

La recharge nette est le paramètre responsable sur le transport de polluant vers la nappe d'eau ; elle est aussi responsable de la dissolution de l'agent polluant. La quantité d'eau qui arrive au niveau de l'aquifère constitue la recharge nette. Nous avons utilisé ce paramètre en se référant sur les données des stations météorologiques de Sidi bel Abbas

Tableau 3.3. : Précipitations et recharges nettes moyennes annuelles des stations météorologiques (ONM 2010 modifié).

station	X	Y	precipitation(mm/an)	recharge nette (mm)
Sidi bel Abbés	-0.6625572	35.182227	276	215.45
Lamtar	-0.798545	35.069715	302	240.8
Ben badis	-0.915917	34.951658	318.1	269.58
Sidi ali ben youb	-0.716953	34.946911	240	218.9
Tenira	-0.521136	35.022488	336	274.17
Ain trid	-0.673561	35.283232	395	332.26
Tessala	-0.7685	35.244977	309	247.6
Mostafa ben brahim	-0.351428	35.189478	266.7	218.9
Sfisef	-0.2426	35.234682	390.09	340.8
El haçaiba	-0.734808	34.710028	242.8	192.46
Oued mimoun	-1.023162	34.906536	318.5	296.9

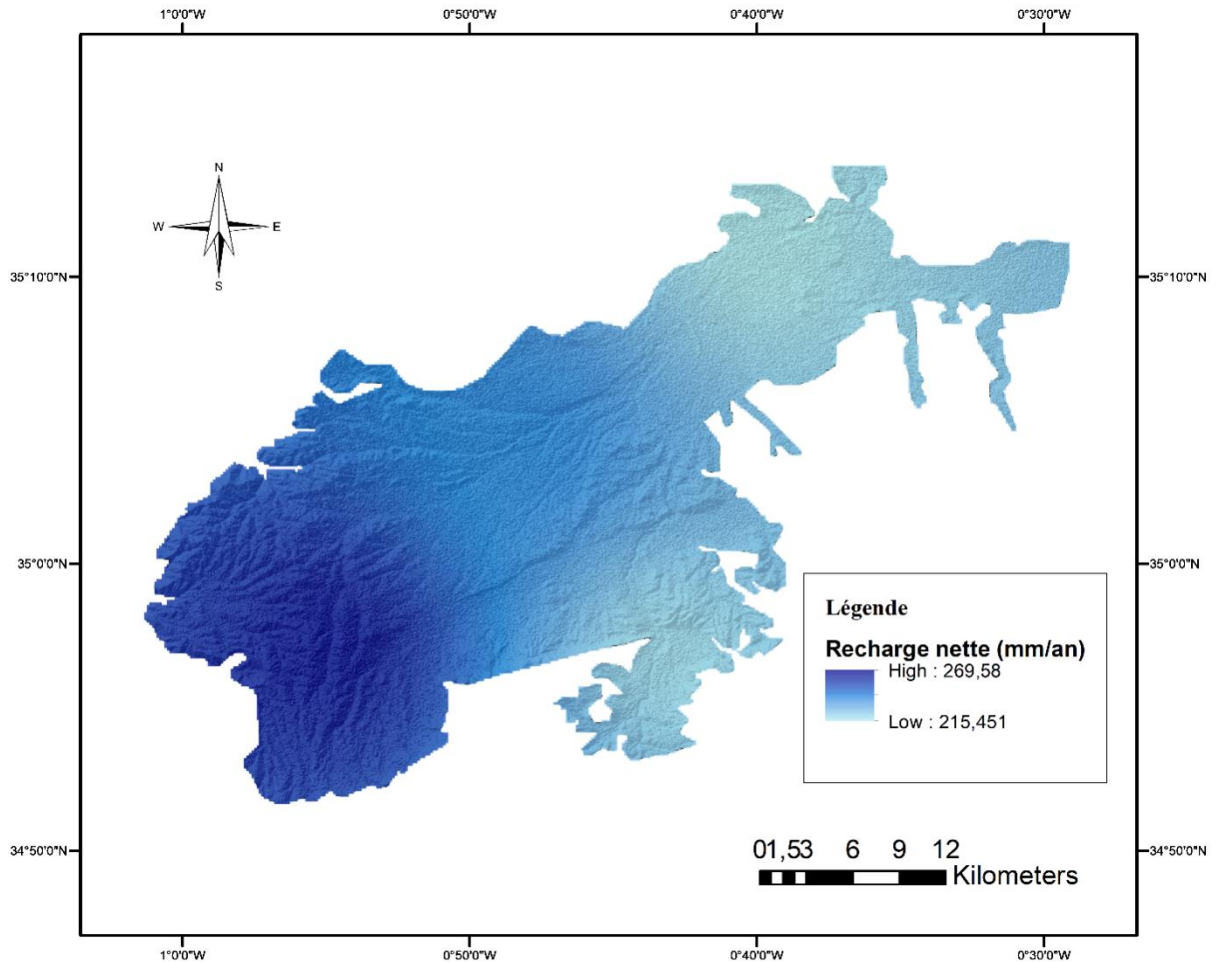


Figure 2.3 : la carte de recharge nette

D'après la carte, on remarque que la recharge nette dans la plaine de Sidi bel Abbés est variée de forte valeur sur la zone sud-ouest et faible dans les zones nord-est.

2.3. Le milieu aquifère :

Dans le cadre de notre étude, on se basant sur les logs et les coupes lithologiques des forages dans la zone d'étude et la carte hydrogéologique de la plaine de Sidi bel abbés pour identifier des milieux Aquifères. L'analyse de ces données confirme que les matériaux aquifère de la nappe alluviale de Sidi bel abbés sont constitués essentiellement des alluvions (mélange limon, marne argile sable, conglomérats), et de marne et d'argile.

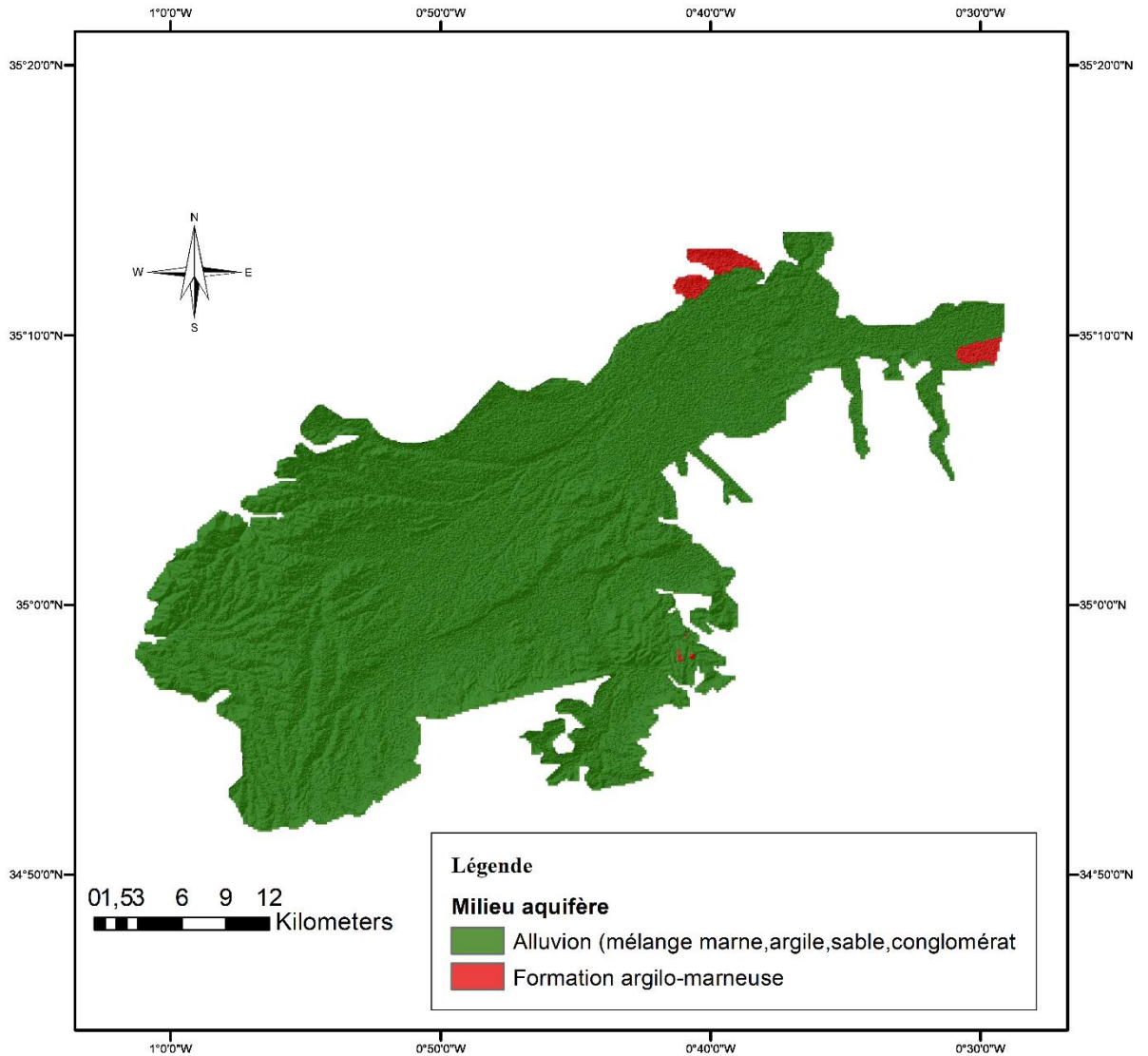


Figure 3.3 : la carte de milieu aquifère

2.4. Le type de sol :

Le type de sol contrôle le mouvement de polluant à travers les couches géologique, par l'effet d'absorption des matériaux fin (Argile et limon), ou l'imperméabilité d'autres formations. Dans notre cas d'étude, le sol est riche en limon et les limons argileux ; ce que veut dire que l'absorption de polluant est grand.

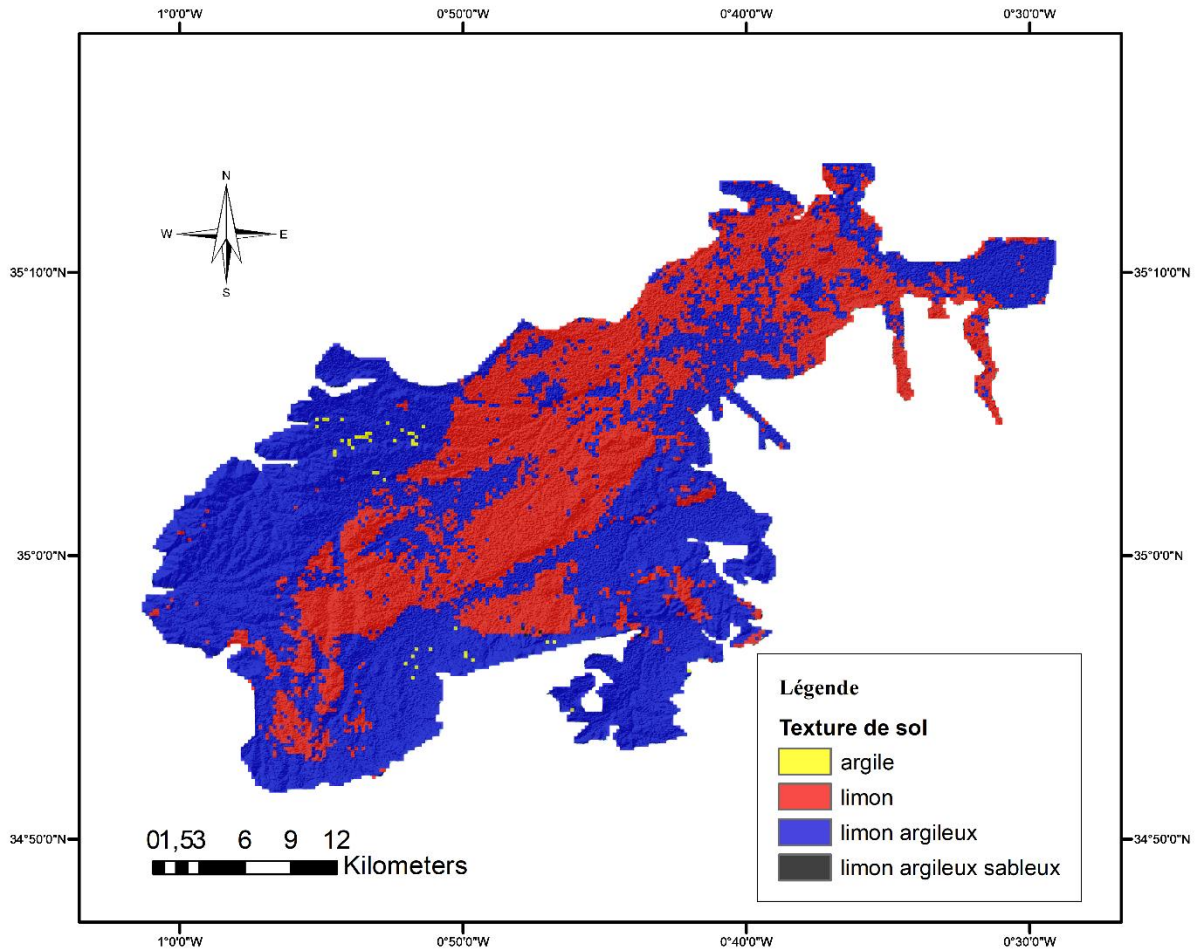


Figure 3.4 : la carte de type de sol

D'après la carte de type de sol, on remarque que les limons entendent de sud-ouest vers le nord-est mais pour limon-argileux est répartie hétérogènement dans la plaine.

2.5. La pente topographique :

Le paramètre topographie (T) représente les valeurs de la pente en degrés. Il traduit la capacité des eaux superficielles à introduire des agents polluants vers la nappe en influençant les taux d'infiltration et de ruissellement. Nous avons obtenu la carte de pente via DEM sous le programme ArcGis

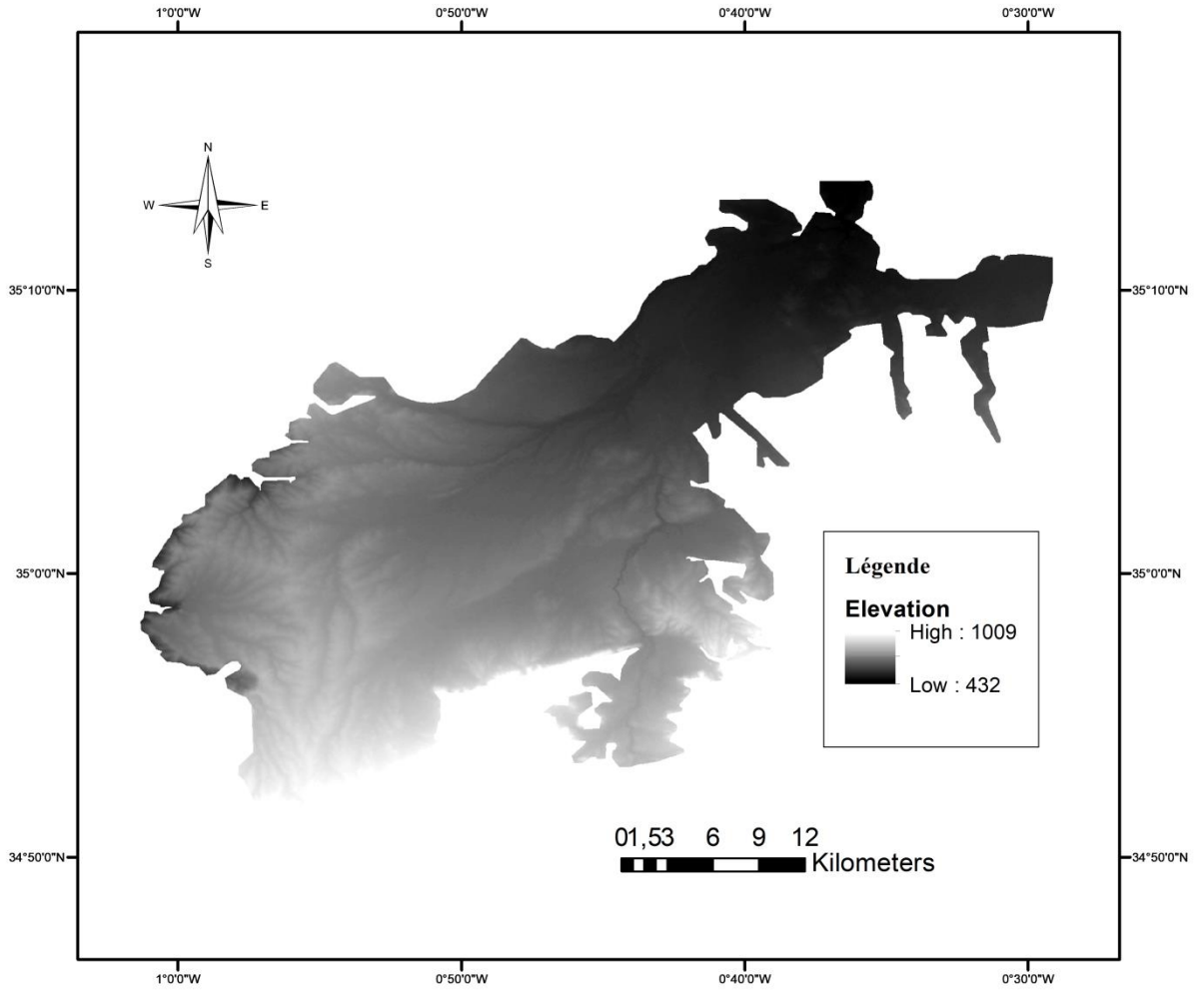


Figure 3.5 : digital élévation modèle

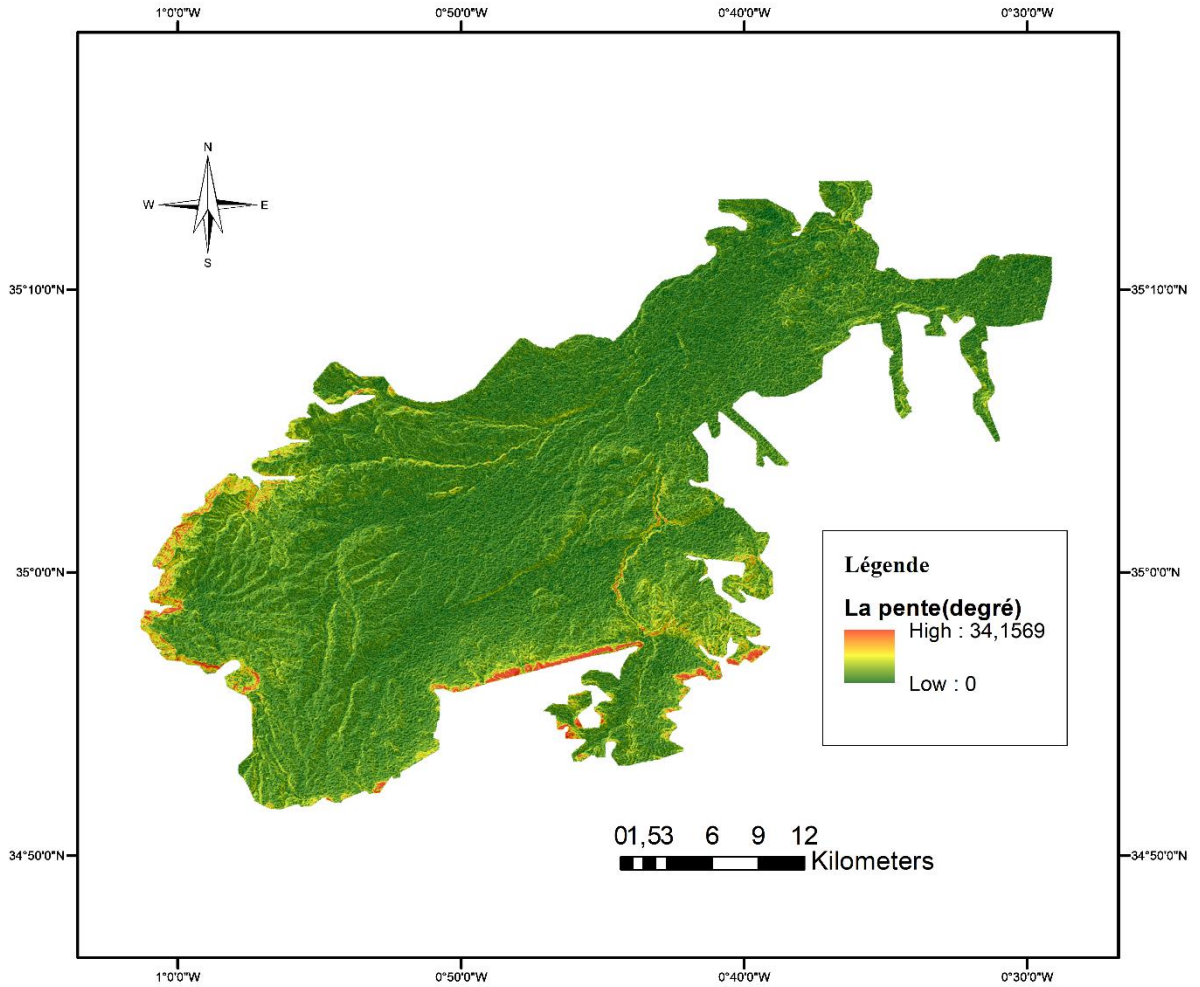


Figure 3.6 : la carte de la pente

2.6. L'impact de la zone non saturée :

La zone vadose ou la zone non saturée est l'épaisseur entre la surface et la cote supérieure de la nappe. Dans notre travail, nous avons obtenu cette carte tout en se basant sur les travaux de (Abtout2013) ; selon les résultats une grande partie de cette zone comporte des éléments perméables. Donc la zone vadose de la nappe alluviale de la plaine de Sidi bel abbés est un environnement très vulnérable pour la contamination de la nappe

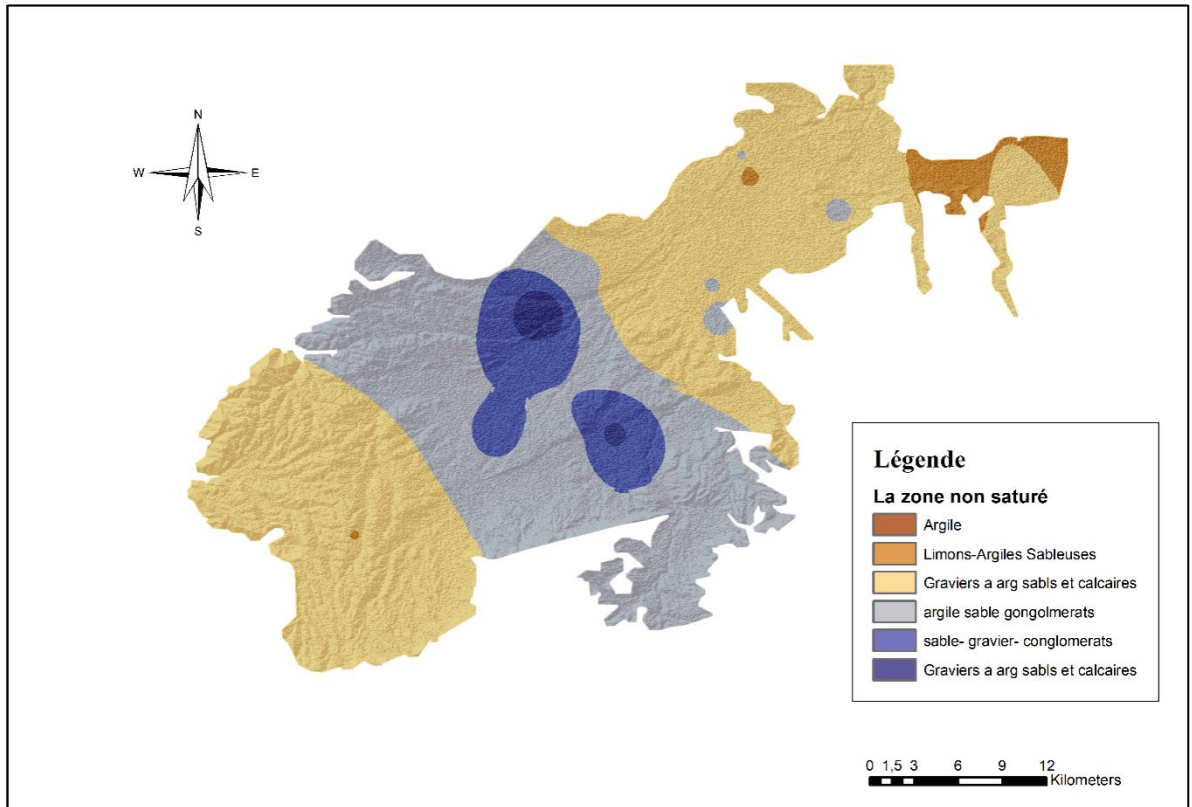


Figure 3.7 : la carte de la zone non saturé

Tableau 3.4 : donnée relatif à la zone non saturée

Nom	X	Y	Code	poids	indice de zns	Formation
1	-0,45255179	35,1424311	1	5	5	Argiles
2	-0,62936501	35,123888	4,36	5	21,8	Limons-Argiles Sableuses
3	-0,49075167	35,186063	2	5	10	Argiles
4	-0,55051637	35,1695566	1,71	5	8,55	Argiles
5	-0,67382603	35,1692722	5,85	5	29,25	Gravieres a argsabls et calcaires
6	-0,67436519	35,1690313	5,27	5	26,35	Gravieres a argsabls et calcaires
7	-0,70289533	35,0971723	6,35	5	31,75	Gravieres a argsabls et calcaires
8	-0,7036838	35,1079754	4,98	5	24,9	Limons-Argiles Sableuses

2.7 La conductivité hydraulique :

on peut calculer ce paramètre directement par des mesures de terrain ; on peut aussi connaitre le paramètre par la granulométrie des formations de milieu aquifère; cette carte est obtenue par les données collecte par (Abtout,2013) .

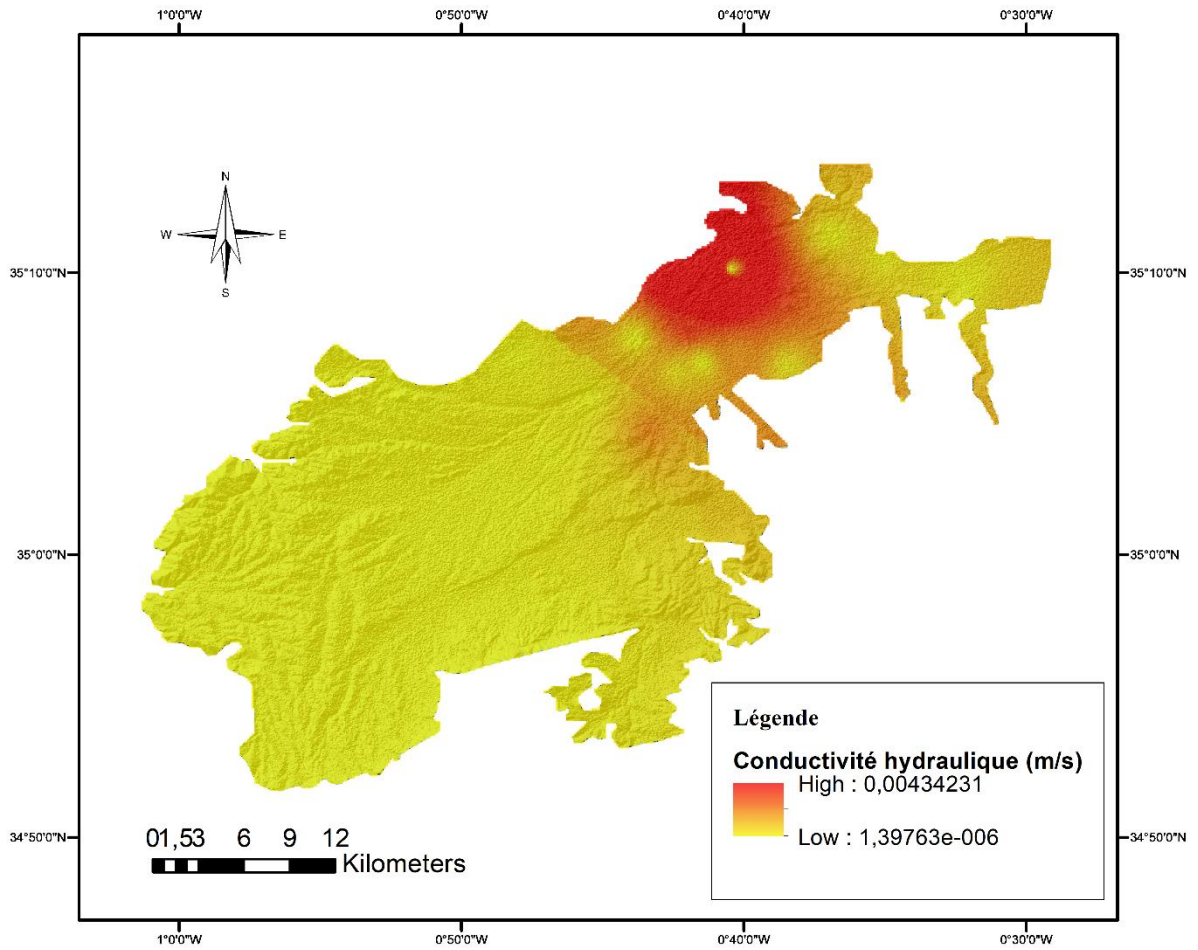


Figure 3.8 : la carte de conductivité

Tableau 3.5 : donnée relatif à la conductivité hydraulique

nom de forage	X	Y	Conductivité Hydraulique(m/s)
02-241	-0,73053888	35,1275	0,0000023
102-241	-0,69148427	35,1128357	0,0000032
11-241	-0,80246869	35,1150225	0,0000041
14-241	-0,78073281	35,0570214	0,000015
161-241	-0,64212291	34,7588072	0,000028
188-241	-0,6133512	35,2145037	0,00023
199-241	-0,75978701	35,0928192	0,000018
22-271	-0,83260483	35,0266165	0,000021
23-240	-0,87701057	35,0631761	0,0000045
249-241	-0,61449206	35,1889868	0,0000062
26-241	-0,68495933	35,1662487	0,00061

3. Modèle SI (susceptibilité index)

Comme nous l'avons déjà dit (chapitre 2), le modèle SI utilise cinq paramètres pour l'évaluation de la vulnérabilité par une équation IS.(Indice SI).

L'équation à été intégrée sous un système d'information géographique en fonction de nombreux facteurs, tel qu'indiqué dans l'équation IS, afin de permettre une modélisation et une cartographie exhaustive de la vulnérabilité.

$$IS = D_c \times D_p + R_c \times R_p + A_c \times A_p + T_c \times T_p + OS_c \times OS_p$$

où c et p représentent respectivement la note et le poids attribués à chaque paramètre voir le tableau 1.3

OU

D : la profondeur de la nappe en mètre (m)

R : la recharge nette de la nappe (mm/a)

A : le milieu aquifere

OS : occupation du sol

Tableau3.6 : les facteur du modèle SI

facteur	symbole	Source d'information	Poids
La profondeur de la nappe	D	les logs et les coupes lithologiques des forages réalisés dans la zone d'étude et la carte hydrogéologique N.bentekhici et al 2017	0.186
La recharge nette	R	Station météorologique et travaille personnelle de N.bentekhici et al 2017	0.212
Le type de milieu aquifere	A	Interpolation des donné de forage réalisée dans la zone d'étude (ANRH)	0.259
La pente topographique	T	MNT(DEM) et traitement en ARC MAP	0.121
L'occupation du sol	OS	Landsat8 et traitement ARC GIS	0.222

4. Extraction des paramètres

3.1. La carte de l'occupation de sol :

Les principaux types du sol qui se trouvent dans la plaine de Sidi bel abbés sont des zones agricoles, des zones d'urbanisme et routiers, des terrains nus et des forêts comme le montre la

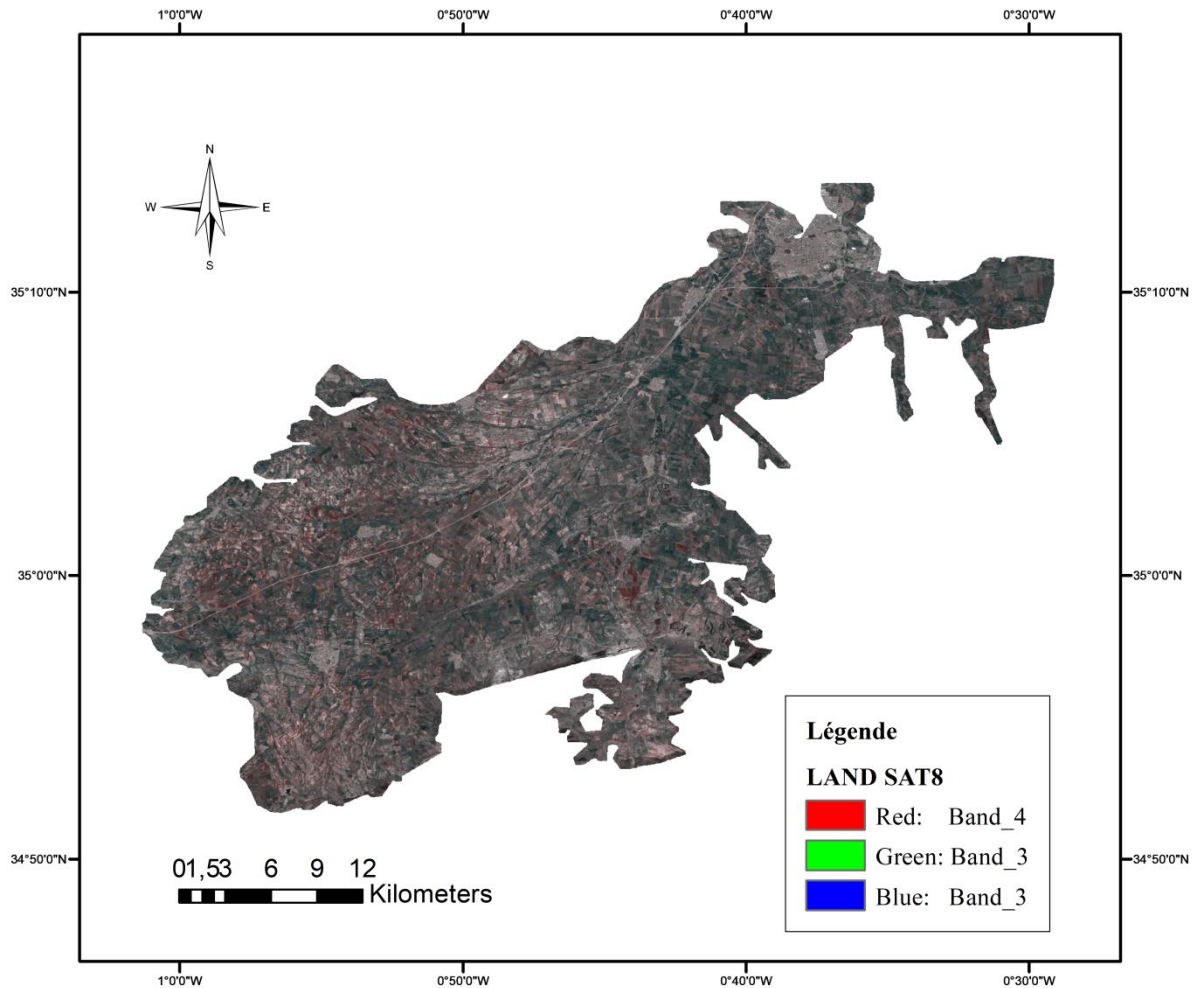


Figure 3.9 : carte land sat 8

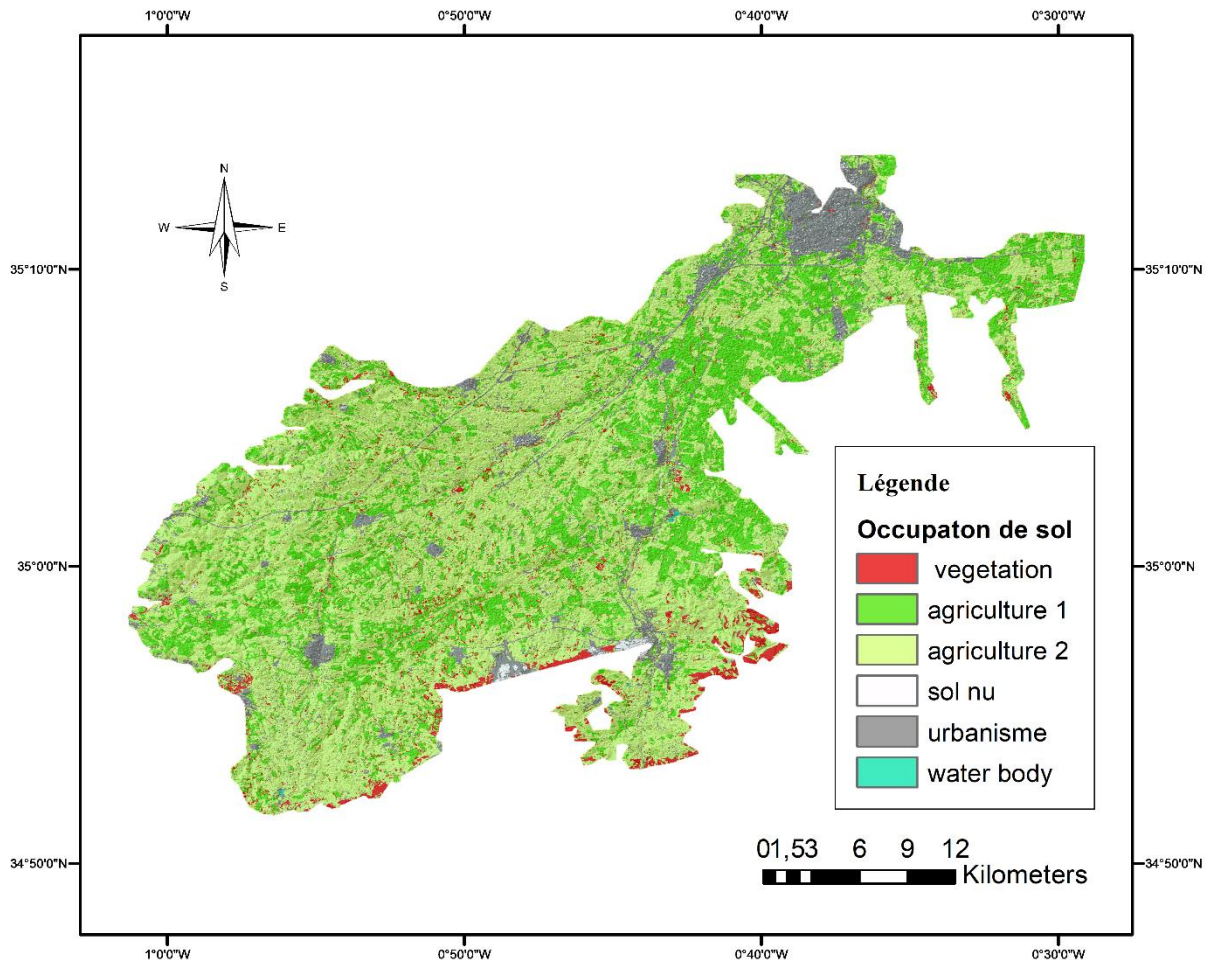


Figure 3.10 : carte de l'occupation de sol

4. Technique d'évaluation

4.1. Standardisation :

La technique de standardisation est utilisée pour traduire diverses entrées d'un problème de décision à une échelle commune, pour permettre une comparaison et surmonter l'incommensurabilité des données (Rahman et al,2012). Le processus de standardisation permet la mise à l'échelle de toutes les dimensions d'évaluation entre 0 et 1 la standardisation des facteurs a été établie sur la base de la logique floue (Fuzzylogic).

Les nouvelles fonctionnalités d'Arcgis10.2 dans l'opérateur (Fuzzy membership) ont été introduites dans la modélisation spatiale du risque de pollution pour standardiser les critères dans la même échelle à fin de les mesurer d'une part et de convertir la description sémantique du risque de pollution des nappes en modèle numérique de prédictions spatiales d'autre part.

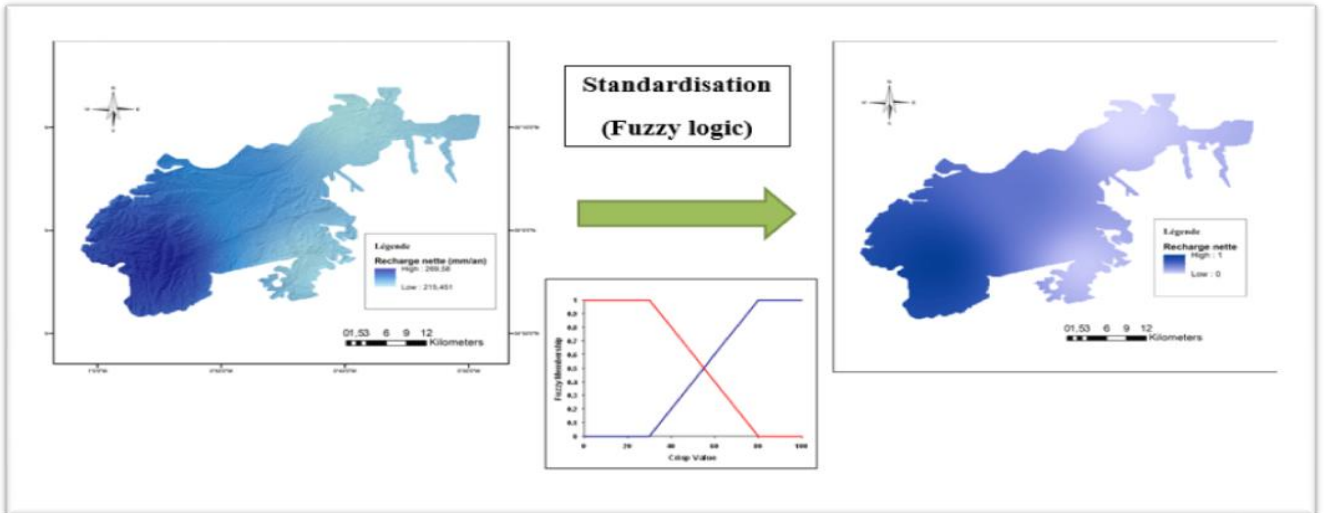


Figure 3.11 : Le processus de standardisation

5.2. Analyse du degré de vulnérabilité

Les équations DRASTIC et SI ont été utilisés pour calculer le degré de vulnérabilité, dans cette étude nous avons utilisé la calculatrice raster sous l'outil arc gis voir les figures suivantes représentes la multiplication des couches de chaque modèle

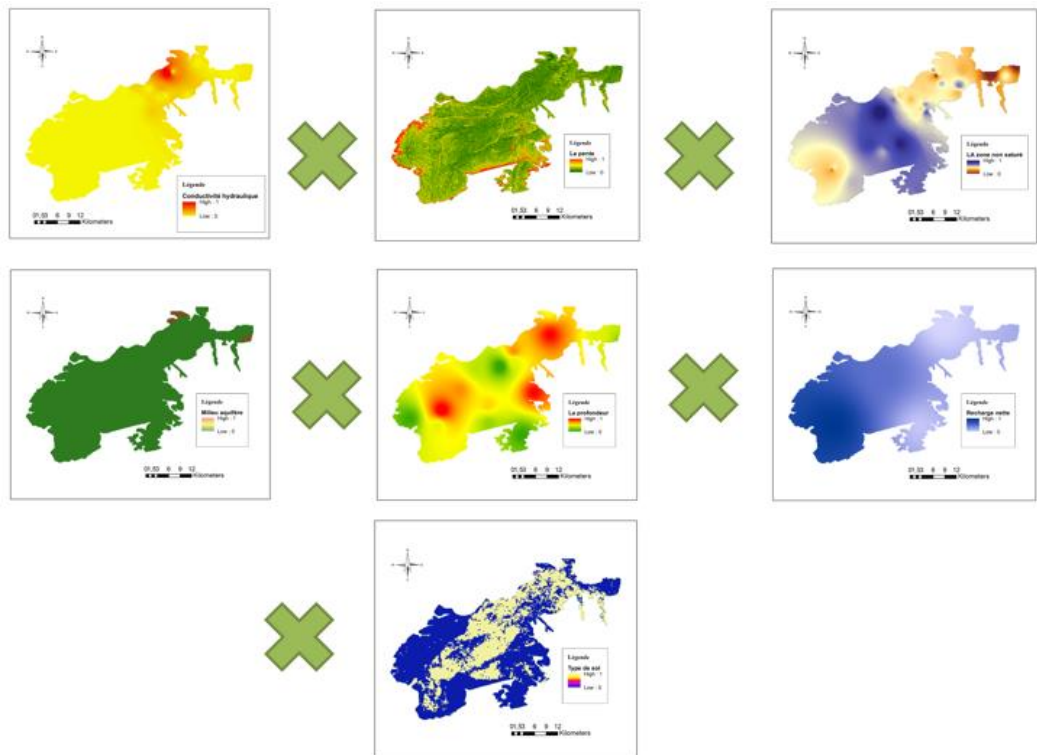


Figure 3.12: Multiplication de différents paramètres du modèle DRASTIC

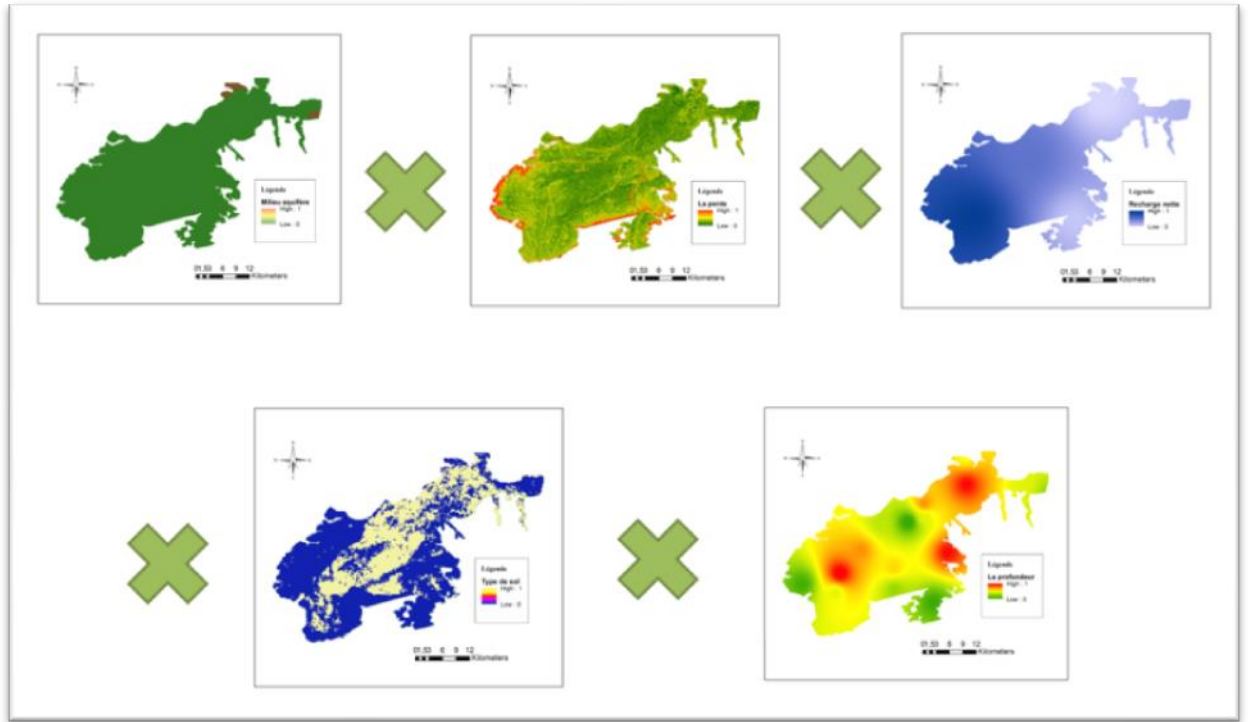


Figure 3.13 : Multiplication de différents paramètres du modèle SI

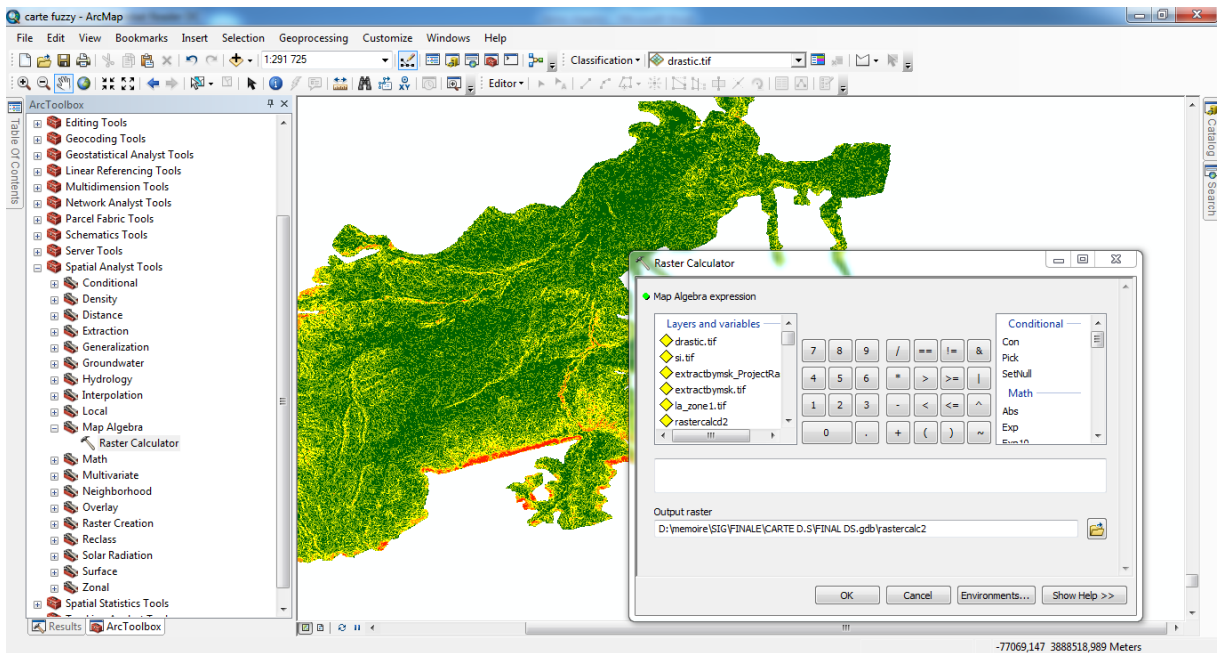


Figure 3.14 : Calculatrice de raster (Raster Calculator)

6. Résultats et discussion

6.1. La carte de l'indice DRASTIC :

L'indice DRASTIC peut prédire la vulnérabilité de l'aquifère à la pollution en combinant des données des sept paramètres hydrogéologiques et morphologiques dans le SIG. Après avoir créé toutes les couches nécessaires, chaque pixel a été classé et évalué par son facteur de pondération et la valeur d'indice DRASTIC calculée. Selon les résultats on a constaté que la vulnérabilité est plus élevée ($VI > 12.5$) couvre 8.14% de la surface totale dans la partie centrale de la zone d'étude. Celle-ci peut être due à la faible profondeur de la nappe ainsi que la perméabilité élevée de l'aquifère provenant de la nature des sédiments de la zone non saturée.

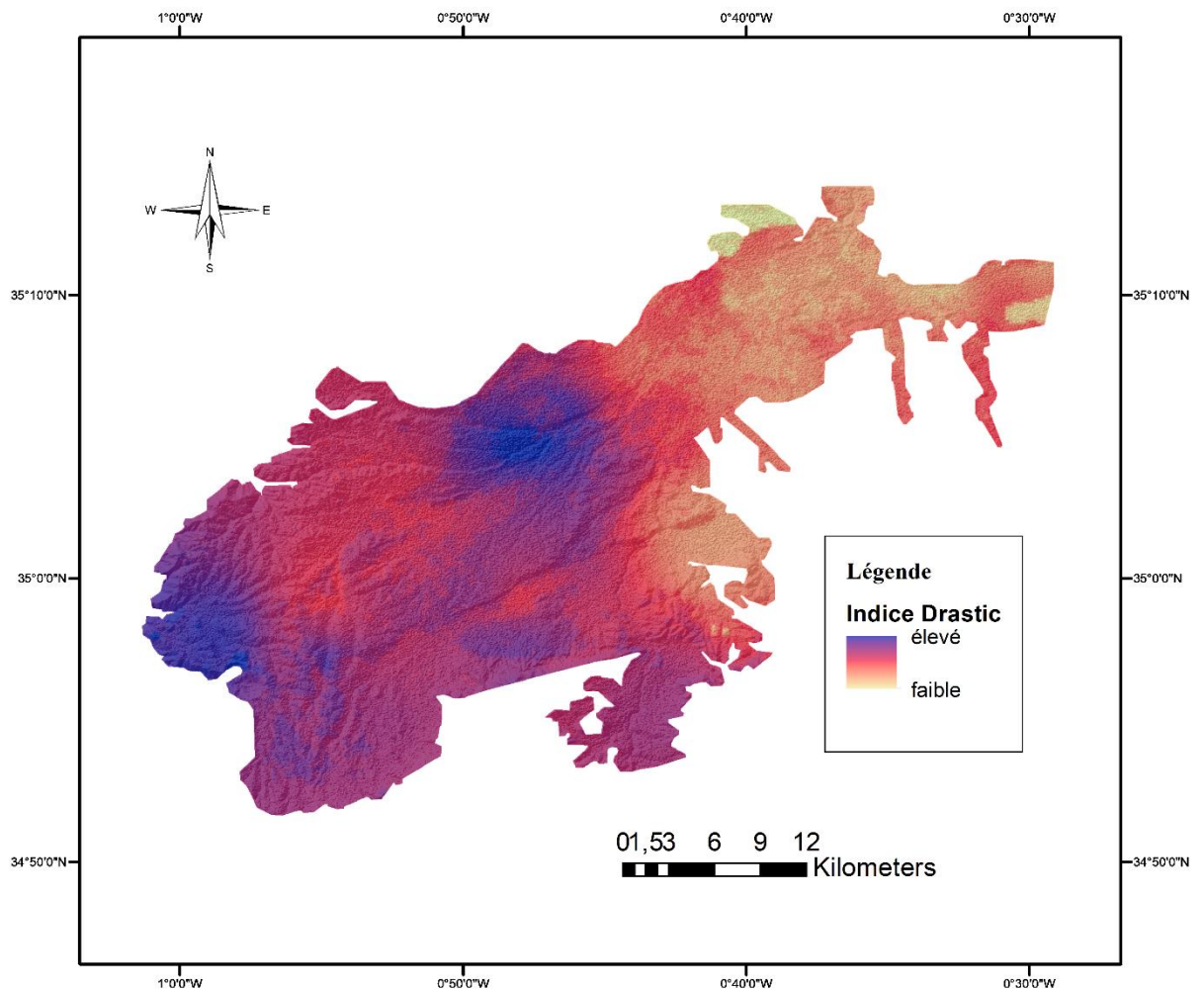


Figure3.15 : carte de DRASTIC

6.2. La carte de l'indice SI :

La carte de vulnérabilité du model SI, selon la norme classique, fournit, à son tour, des résultats plus détaillés largement différents au model DRASTIC.

Les résultats ont montré que le potentiel de contamination maximal dans les eaux souterraines de la plaine Sidi bel abbés a été observé dans les limites sud-ouest de la plaine. En outre, il y avait des zones à très faible et faible potentiel à la pollution dans le nord et à l'est et au centre de la plaine.

Sur la base de résultats de la distribution spatiale de la sensibilité aux risques de pollution générée avec SI 38.05% de la surface totale est considérée comme très fort risque tandis que les valeurs de la zone de sensible faible représentent 1.6% de la surface total

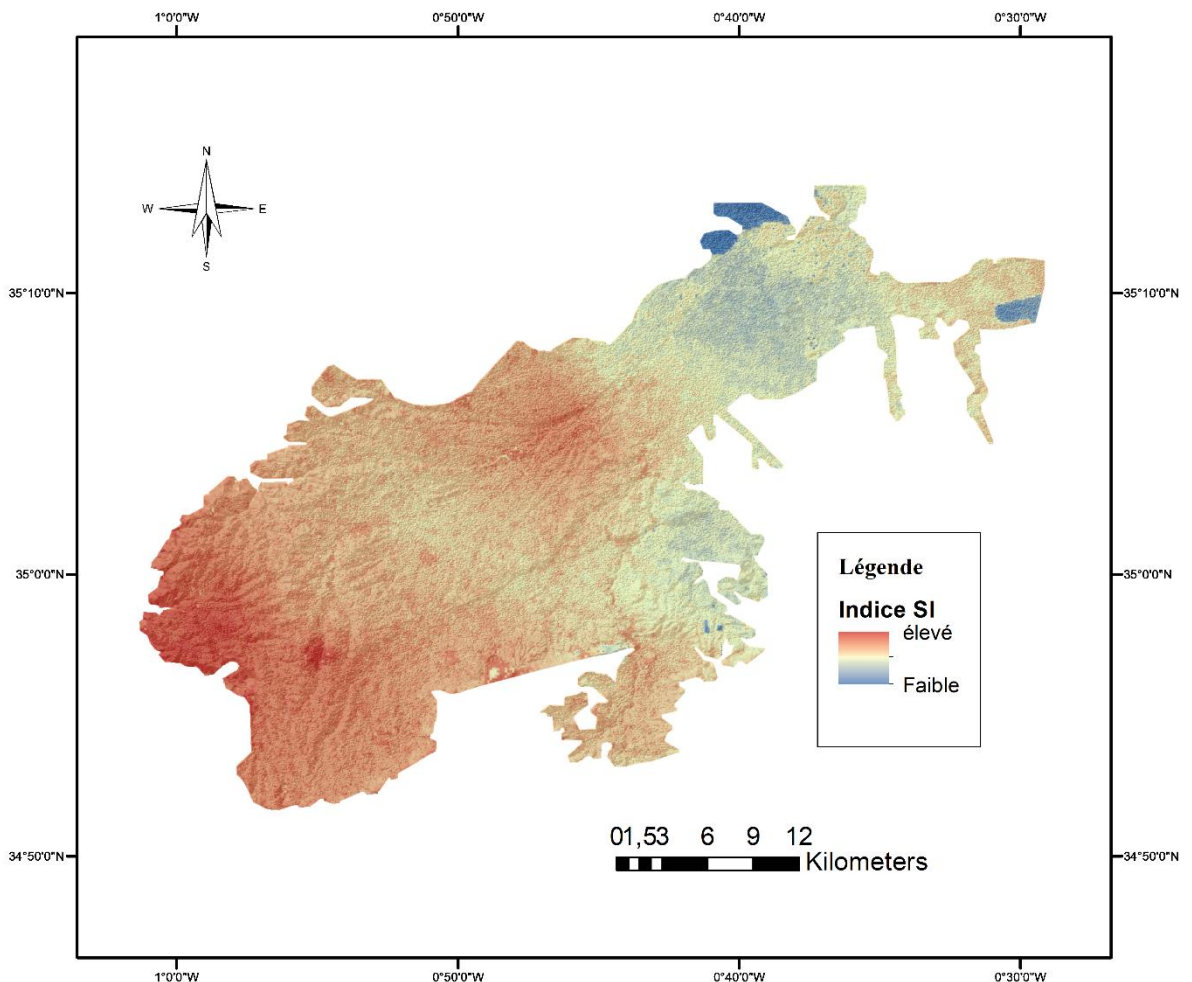


Figure 3.16 : carte de SI

6.3. Comparisons de résultats :

la comparaison des cartes de vulnérabilité entre le modèle DRASTIC avec celle du modèle SI a révélé des différences intéressantes pour les deux approches. Selon les résultats on constate que la zone de très forte vulnérabilité a varié de 8.14 à 38.05% pour DRASTIC et SI respectivement, alors que la zone de vulnérabilité faible est passée de 13% à 23% pour les deux modèles respectivement. Pour la validation de nos résultats, nous avons basé sur la qualité des eaux et les analyses physicochimiques collectées (1970 - 2006) par ANRH, (référence). Les résultats des analyses du forage montrent que les teneurs NO_3 sont très élevées ($+50\text{mg/l}$), dans la partie sud-ouest de la nappe, Cela démontre que la carte de vulnérabilité préparée à l'aide de la méthode SI est plus précise que celle prédite par la DRASTIC.

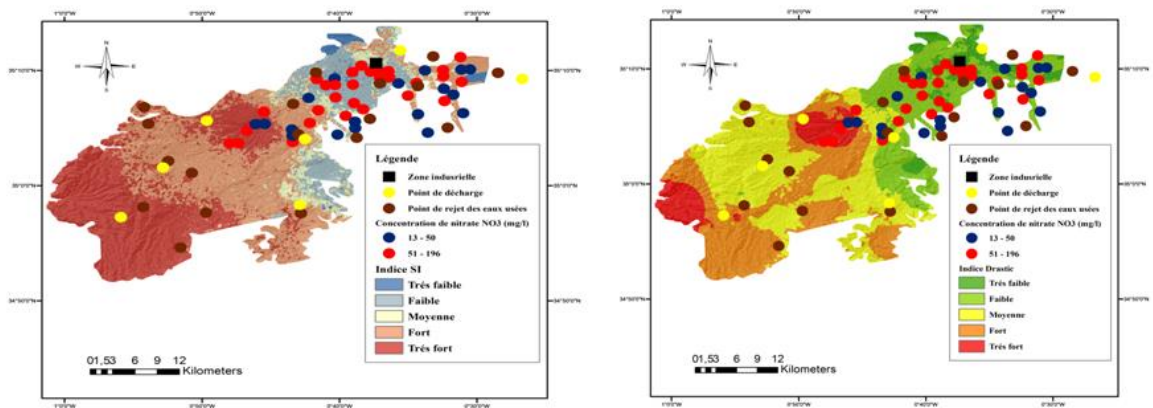


Figure 3.17 : la classification de vulnérabilité selon le modèle SI et DRASTIC respectivement

6.4. Discussion :

Dans la présente étude, nous essayons de comparer et d'appliquer deux modèles différents pour cartographier la vulnérabilité des nappes à la pollution cas de la plaine de Sidi Bel Abbès. La comparaison entre les méthodes DRASTIC et SI montre que les résultats les plus adaptés pour notre cas d'étude est celle de la méthode SI. Selon les résultats on constate que le potentiel de contamination maximal des eaux souterraines de la plaine de Sidi Bel Abbès a été observé dans les limites sud-ouest et le centre de la plaine. En outre, il y avait des zones à très faible et faible potentiel au centre, au nord et à l'est de la plaine. Les cartes SI et DRASTIC résultant de la superposition des facteurs montrent que les classes d'indice de vulnérabilité

la plus élevée couvre 38% et 8% de la surface totale de la zones d'étude celle-ci est due à la perméabilité élevée de l'aquifère provenant de la nature des sédiments de la zone vadose.

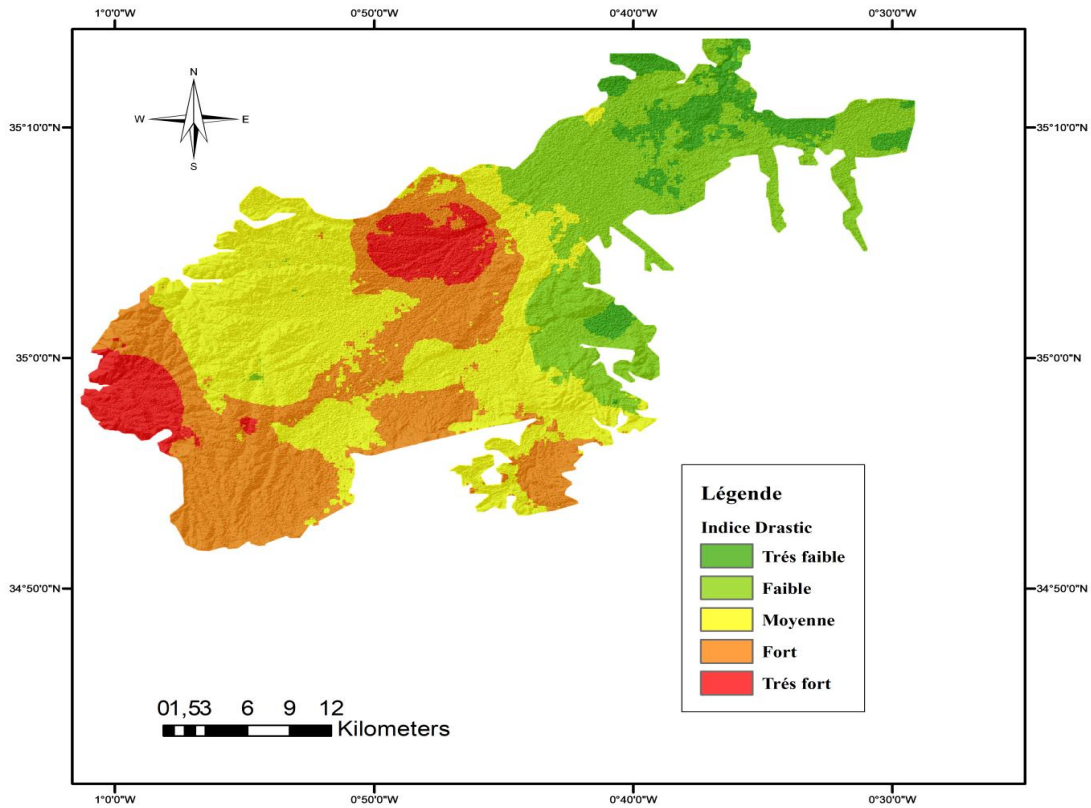


Figure 3.18 : la classification de vulnérabilité selon le modèle DRASTIC

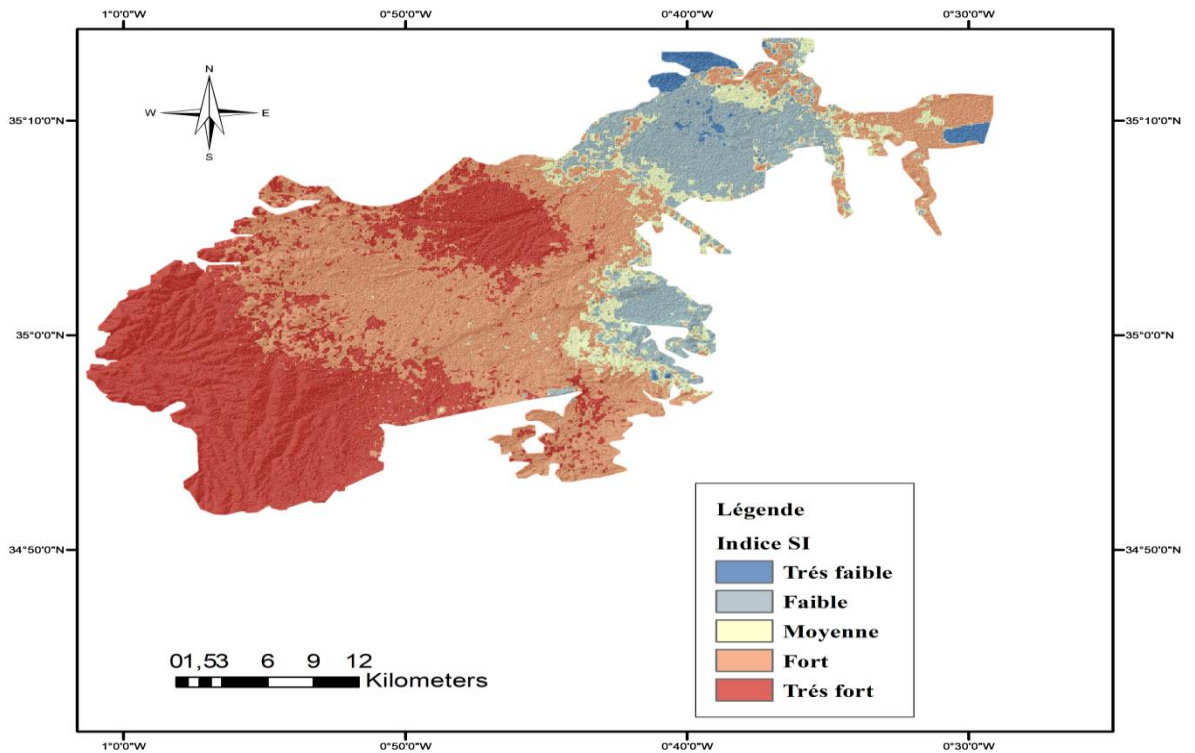


Figure 3.19 : la classification de vulnérabilité selon le modèle SI

Conclusion

Cette approche, susceptibilité index à la fois avec les SIG et la télédétection a permis d'établir une carte de vulnérabilité a la pollution sur la nappe de la plaine de sidi bel abbés qui est un outil utile pour évaluer les degrés de risque de contamination et de proposer les plans de conservation à l'échelle du l'air d'étude .

Conclusion générale

Conclusion générale

Les eaux souterraines représentent une importante ressource exploitée pour la consommation humaine et pour l'utilisation dans les domaines agricoles et industriels. Ce travail a été réalisé dans le but d'estimer /étudier les indices de la vulnérabilité à la pollution de la nappe Sidi bel abess par l'application des méthodes DRASTIC et SI. Les résultats de la comparaison des cartes de vulnérabilité à la pollution obtenues selon les deux modèles ont révélé une tendance à la vulnérabilité faible. La cartographie de la vulnérabilité de la plaine à partir de la méthode DRASTIC, SI ont montré que les zones de vulnérabilité faible occupent 23.23% et 13.14% de la plaine et se localisent au niveau du centre et l'est de la nappe. Alors que les zones à très forte vulnérabilité, sont plus importantes et couvrent 27.77% et 39.62% de la surface totale respectivement pour les deux modèles SI et DRASTIC et se situent à, au sud-ouest. Dans cette étude la validation des cartes de vulnérabilité a été menée à l'aide de la carte la répartition spatiale du taux de nitrates. Selon les résultats on a conclu que les fortes valeurs de nitrates sont figure dans les classes de vulnérabilité très faible, faible et moyenne ce qui montre que les nappes sont susceptibles d'être menacés ponctuellement par l'infiltration des polluants. Dans les travaux futurs, une attention particulière devrait être accordée aux variations à long terme de la vulnérabilité par la mise en place d'un outil capable d'intégrer les données géographiques de manière automatique et dynamique.

References

bibliographique

References bibliographique

- Le **Manuel** de la Convention de **Ramsar**: Guide de la. Convention sur les zones humides. (**Ramsar**, Iran, 1971), **4e édition**.
- SCHNEBELEN N., J.P. PLATEL, Y. LENINDRE et D. BAUDRY (2001). Gestion des eaux souterraines en Aquitaine Année 5. Opération sectorielle. Protection de la nappe de l'oligocène en région bordelaise. Cartographie de la vulnérabilité à la pollution. Bureau de recherches géologiques et minières, RP-51178-FR, France
- YOUSFI S. (2008). Hydrodynamique et modélisation de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbès (Nord-ouest Algérien). Mémoire de magister, Univ. Abou Bakr Belkaid
- SOURISSEAU B. (1973). *Étude hydrogéologique de la nappe de Sidi Bel Abbès*. Rapport de la Direction des études de milieu et de la Recherche hydraulique
- CHERIFI Hafsa (2017) ; Caractérisation, classification et statistique multi variable des eaux de l'aquifère alluvionnaire de la plaine de Sidi Bel Abbès.
- D. Auclair et J. Biehler, (1967) ; Volume 302 de Notice explicative de la carte géologique au 1:50.000, D. Auclair Algérie / Ministère de l'industrie lourde, Direction des mines et de la géologie
- BENTEKHICI Nadjla (2018) ; Evaluation et gestion des déchets solides et liquides, Apport des SIG et la Télédétection Cas de: Ain Témouchent, Tlemcen, Oran et Sidi Bel Abbès.
- Station météorologique Sidi Bel Abbès
- ANRH (Agence National des Ressources Hydrique) de Oran
- DRE (Direction des Ressources en Eau) de Sidi Bel Abbés
- Agence Nationale de développement de l'Investissement (2013)
- Bellaredj Abderahim (2019) ; Caractérisation des principaux paramètres affectant les eaux souterraines de la plaine de Sidi Bel Abbés à l'aide du programme Visual Modflow (applications et perspectives).

References bibliographique

- ABTOUT L. (2013). Étude hydrogéologique de la plaine de Sidi Bel Abbés : modélisation et protection de la ressource en eau. Mémoire de magister, Univ. Sciences et Technologie Houari Boumediene, Algérie
- SMIDA H., C. ABDELLAOUI, M. ZAÏRI et H. BEN DHIA (2010). Cartographie des zones vulnérables à la pollution agricole par la méthode DRASTIC couplée à un système d'information géographique (SIG) : cas de la nappe phréatique de Chaffar (sud de Sfax, Tunisie). Sécheresse, 21 (2), 131-146.
- Saheed et al(2020), Regional Aquifer Vulnerability and Pollution Sensitivity Analysis of Drastic Application to Dahomey Basin of Nigeria
- Soil texture classes (USDA system) for 6 soil depths (0, 10, 30, 60, 100 and 200 cm) at 250 m (www.zenodo.org/)
- <https://earthexplorer.usgs.gov/>
- www.un.org
- <http://www.spge.be/fr/l-eau-dans-le-monde>
- <https://www.cieau.com/>
- www.canada.ca
- [https://www.who.int/wer/en/ \(WEEKLY EPIDEMIOLOGICAL RECORD\)](https://www.who.int/wer/en/)

Annexe

Annexe

1. Les données relatifs a la profondeur de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbés (ANRH) :

forage	X(WGS1984)	Y(WGS1984)	Profondeur (m)
1	-0,82320683	35,087348	27
2	-0,73705258	35,1259596	40
3	-0,73589784	35,0989278	30
4	-0,54072696	35,1585512	30
5	-0,6530887	35,2185764	32
6	-0,4533002	35,1699303	30
7	-0,47417323	35,1423055	20
8	-0,35487002	35,1815222	52
9	-0,8646486	35,0319754	40
10	-0,90643451	34,9855967	53
11	-0,91575928	34,9492314	30
12	-0,65082332	35,164517	50
13	-0,76839672	35,0889625	11
14	-0,79734326	34,9978926	35
15	-0,795379	34,9528488	24
16	-0,68898698	35,0281065	50
17	-0,71762319	34,9280552	14
18	-0,98223407	34,9652224	15
19	-0,76515133	35,0899563	7,62
20	-0,66089485	35,2079803	10,21
21	-0,65904018	35,176909	10,17
22	-0,68700135	35,1625821	33,13
23	-0,6648298	35,1708811	19,83
24	-0,64340767	34,4610955	9,35
25	-0,71289966	35,1902579	19,79
26	-0,80620794	35,1126568	3,13

Annexe

27	-0,80687728	35,0652726	13,65
28	-0,50107205	35,1501528	22,1
29	-0,71736852	35,1147993	25,34
30	-0,61758633	35,1708581	6,71
31	-0,70153231	35,129689	29,84
32	-0,71495626	35,0711145	15,79
33	-0,65654396	35,1436006	27,37
34	-0,63745223	35,2388632	6,32
35	-0,80943246	35,1486488	5
36	-0,74905723	35,0985451	11,16

Annexe

2. Les données relatifs a la zone non saturé de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbés (ANRH) :

echan tion	X(WGS1 984)	Y(WGS1 984)	la perméa bilité	Formation
1	- 0,452551 79	35,14243 11	1	Argiles
2	- 0,629365 01	35,12388 8	4,36	Limons-Argiles Sableuses
3	- 0,490751 67	35,18606 3	2	Argiles
4	- 0,550516 37	35,16955 66	1,71	Argiles
5	- 0,673826 03	35,16927 22	5,85	Graviers a arg sables et calcaires
6	- 0,674365 19	35,16903 13	5,27	Graviers a arg sables et calcaires
7	- 0,702895 33	35,09717 23	6,35	Graviers a arg sables et calcaires
8	- 0,703683 8	35,10797 54	4,98	Limons-Argiles Sableuses
9	- 0,670829 71	35,11770 98	5,32	Graviers a arg sables et calcaires
10	- 0,704465 88	35,13411 53	4,77	Limons-Argiles Sableuses
11	- 0,684959 33	35,16624 87	4,14	Limons-Argiles Sableuses
12	- 0,698981 64	35,13427 26	5,01	Limons-Argiles Sableuses

Annexe

13	- 0,616239 04	35,17811 25	4,31	Limons-Argiles Sableuses
14	- 0,684243 15	35,17529 06	6,36	Graviers a arg sables et calcaires
15	- 0,666530 57	35,14602 37	6	Graviers a arg sables et calcaires
16	- 0,678299 48	35,16463 42	1,8	Argiles
17	- 0,449887 85	35,15287 57	5,37	Limons-Argiles Sableuses
18	- 0,719869 57	35,12194 42	5,02	Limons-Argiles Sableuses
19	- 0,764089 11	35,11614 99	4,81	Limons-Argiles Sableuses
20	- 0,878217 86	35,09020 57	6,33	Graviers a arg sables et calcaires
21	- 0,442508 36	35,14675 68	5,82	Graviers a arg sables et calcaires
22	- 0,625568 36	35,14086 42	6,51	Graviers a arg sables et calcaires
23	- 0,777953 09	35,10672 23	6,46	Graviers a arg sables et calcaires
24	- 0,736287 74	35,10793 72	4,55	Limons-Argiles Sableuses
25	- 0,518383 65	35,16276 46	5,41	Limons-Argiles Sableuses
26	- 0,449659 54	35,17498 25	5,63	Graviers a arg sables et calcaires

Annexe

27	- 0,721714 47	34,92747 88	6,53	Graviers a arg sables et calcaires
28	- 0,921736 55	34,94813 92	5	Limons-Argiles Sableuses
29	- 0,919973 26	34,94548 66	3,24	Limons-Argiles Sableuses
30	- 0,723743 31	35,07131 18	5,2	Limons-Argiles Sableuses
31	- 0,831691 69	35,00589 35	7,32	argile sable gongolmerats
32	- 0,867680 59	34,91527 29	5,94	Graviers a arg sables et calcaires
33	- 0,802236 32	34,98421 41	6	Graviers a arg sables et calcaires
34	- 0,762038 14	35,00524 39	8,2	sable- gravier- conglomerats
35	- 0,711753 53	35,08609 19	4,79	Limons-Argiles Sableuses
36	- 0,806372 96	35,07881 99	9	gravier-conglomerats- calcaires
37	- 0,915758 96	34,94922 42	5,7	gravier-conglomerats- calcaires
38	- 0,788631 58	34,99905 04	6,87	argile sable gongolmerats
39	- 0,700995 39	35,07828 18	6,78	argile sable gongolmerats

Annexe

3. Les données relatifs a la conductivité de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbés (ANRH) :

nom de forage	X	Y	Conductivité Hydraulique(m/s)
02-241	- 0,73053888	35,1275	0,000023
102-241	- 0,69148427	35,1128357	0,000032
11-241	- 0,80246869	35,1150225	0,000041
14-241	- 0,78073281	35,0570214	0,000015
161-241	- 0,64212291	34,7588072	0,000028
188-241	-0,6133512	35,2145037	0,00023
199-241	- 0,75978701	35,0928192	0,000018
22-271	- 0,83260483	35,0266165	0,000021
23-240	- 0,87701057	35,0631761	0,000045
249-241	- 0,61449206	35,1889868	0,000062
26-241	- 0,68495933	35,1662487	0,00061
29-241	- 0,72172455	35,0754298	0,00056
29-271	- 0,88976216	35,029409	0,000021
31-240	- 0,82547433	35,0764489	0,00005
31-272	- 0,75358401	35,0253381	0,000097
34-241	- 0,58426376	35,1753932	0,00004

Annexe

34- 272	-0,787615 0,80655336	35,0008847	0,000026
37- 272	- 0,80655336	35,0328036	0,000005
38- 240	- 0,87184173	35,094909	0,0000014
38- 272	- 0,78577945	35,0343189	0,000021
39- 272	- 0,78182639	34,9685773	0,0000013
42- 271	- 0,90943726	35,0035493	0,0000078
45- 241	- 0,53537361	35,1618515	0,0000019
56- 241	- 0,54881541	35,16825	0,000045
58- 241	-0,5019101	35,1491377	0,00021
96- 241	-0,6408913	35,1106634	0,00008
SBA5	- 0,70609607	35,1079062	0,0001
SBA6	- 0,67082971	35,1177098	0,0005
SBA7	- 0,69898164	35,1342726	0,001
SBA8	-0,6848496	35,1662518	0,007
SBA9	- 0,67436519	35,1690313	0,000045

Annexe

4. Les données relatifs a la conductivité de la nappe alluviale de la plaine de Sidi Bel Abbés (ANRH) :

Enchantions	X (WGS1984)	Y(WGS1984)	NO ₃ ⁻ (mg/l)
1	-0,61753722	35,1564252	67
2	-0,55937382	35,07684801	32
3	-0,67125656	35,12784673	195
4	-0,60656534	35,15673149	196
5	-0,51914981	35,16815636	45
6	-0,65082966	35,16451096	85
7	-0,80010546	35,06096614	90
8	-0,67239554	35,15488308	26
9	-0,65006965	35,14648973	96
10	-0,70262733	35,09086496	71
11	-0,64743718	35,08341943	19
12	-0,65914899	35,10112624	54
13	-0,69433252	35,15425298	54
14	-0,72339127	35,06320262	55
15	-0,67201018	35,14586811	86
16	-0,64781362	35,09242557	42
17	-0,59522233	35,14802589	19
18	-0,69242812	35,10920013	105
19	-0,72377634	35,072213	14
20	-0,54072683	35,15854804	51
21	-0,60655986	35,15673164	67
22	-0,6489387	35,1194622	60
23	-0,58351232	35,13031284	52
24	-0,57143895	35,10357875	39
25	-0,51987505	35,1861786	90
26	-0,54109728	35,16755894	87

Annexe

27	-0,66897579	35,07378338	16
28	-0,52866916	35,13181388	41
29	-0,77897152	35,07962734	61
30	-0,60693771	35,16574233	162
31	-0,65082417	35,16451112	63
32	-0,56304442	35,16695746	45
34	-0,75821155	35,10729977	98
35	-0,61791101	35,16544051	76
36	-0,70415931	35,1269069	46
37	-0,64023295	35,17383107	95
38	-0,76840095	35,08895879	45
39	-0,50817047	35,1684537	47
40	-0,5392678	35,12250393	169
41	-0,62888385	35,16512867	62
42	-0,54000264	35,14052583	29
43	-0,75743909	35,08928353	50
44	-0,51661405	35,10507872	25
45	-0,57328081	35,14863783	56
46	-0,51842508	35,15013865	70
47	-0,64023295	35,17383107	101
48	-0,78914736	35,0612893	62
49	-0,6829858	35,14555562	61
50	-0,72416169	35,08122789	13
51	-0,63760166	35,11075603	81

Annexe

5. Les données relatifs au milieu aquifère

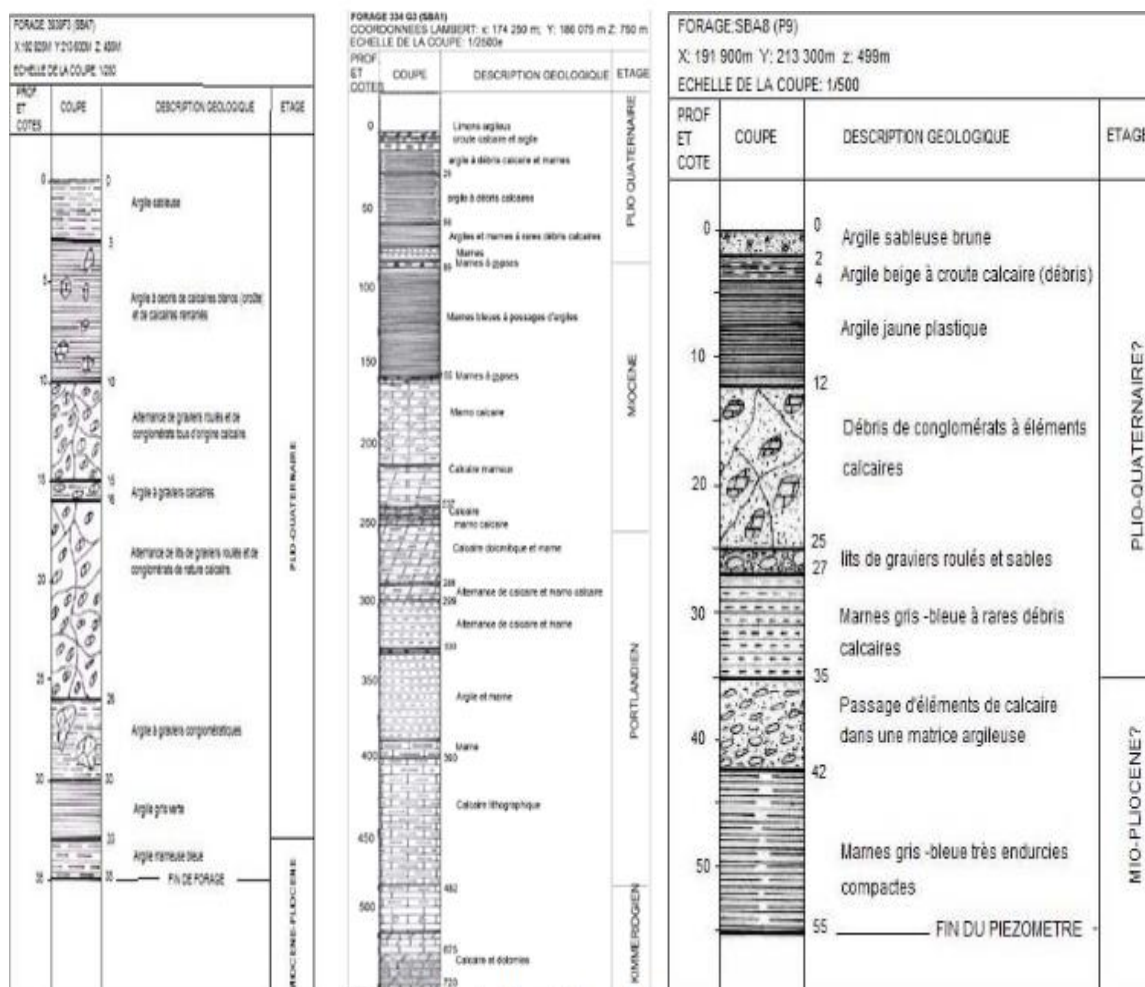


figure : les Logs litho stratigraphiques du forages (SBA 9) (SBA 7) (SBA1).