

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة الجيلالي بونعامة - خميس مليانة
Université Djilali Bounaama - Khemis Miliana



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre
Département des Sciences Agronomiques
Spécialité : Aménagement Hydro-Agricole

MEMOIRE

de fin d'études présenté pour l'obtention du diplôme de *Master*

Thème

*Contribution à la localisation des zones vulnérables à la pollution
- Application à la nappe alluviale du Moyen Cheliff*

Présenté par :

HADDAD Marwa

MESSAOUDI Feyrouz

Soutenu publiquement le 12/07/2022, devant le jury composé de :

M. TOUIL Sami

MCA Président

UDB- Khemis Miliana

Mme MATENE Chahrazed Naziha

MAA Promotrice

UDB- Khemis Miliana

Mme BOUAICHI Ilhem

MAA Examinatrice

UDB- Khemis Miliana

Année universitaire 2021/2022

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي
Ministère de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche Scientifique
جامعة الجيلالي بونعاما - خميس مليانة
Université Djilali Bounaama - Khemis Miliana



Faculté des Sciences de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre
Département des Sciences Agronomiques
Spécialité : Aménagement Hydro-Agricole

MEMOIRE

de fin d'études présenté pour l'obtention du diplôme de *Master*

Thème

***Contribution à la localisation des zones vulnérables à la pollution
- Application à la nappe alluviale du Moyen Cheliff***

Présenté par :

HADDAD Marwa

MESSAOUDI Feyrouz

Soutenu publiquement le 12/07/2022, devant le jury composé de :

M. TOUIL Sami

MCA Président

UDB- Khemis Miliana

Mme MATENE Chahrazed Naziha

MAA Promotrice

UDB- Khemis Miliana

Mme BOUAICHI Ilhem

MAA Examinatrice

UDB- Khemis Miliana

Année universitaire 2021/2022



Remerciement

*Tout d'abord , nous remercions **Dieu** tout puissant et miséricordieux de nous avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.*

*Nous exprimons nos profondes gratitude et respectueuses reconnaissances à notre promotrice **Mme Matene C.N** pour son encadrement, conseils et sacrifices afin de donner le meilleur et pour son suivi durant la période de préparation de notre mémoire d'afin d'étude.*

*Nos remerciements vont aux membres du jury **M. Touil S.** et **M^{me} Bouaichi I.** qui nous ont fait l'honneur d'accepter de juger notre travail.*

Nous adressons nos sincère remerciements à tous les professeurs qui par leurs conseils et leurs efforts durant tous les années passées nous sommes là, vraiment un grand remerciement pour leurs qualités d'enseignement qui nous a été dispensé.





Dédicace



Je dédie ce modeste travail à mes plus chers êtres au monde :

À mes chers parents :

À ma mère grâce à qui je suis là, et je suis fier d'avoir son rêve (رحمة الله عليك)

À mon père pour son soutien, son affection et la confiance qu'il m'accordé

*À mon cher frère « MOHAMMED HICHAM encouragements et pour leur
soutien moral et physique.*

À ma tante et son mari RACHID et ses filles HADIL, HANAA, NOUR

*À toute les personnes de ma grande famille (ma grande mère, mes tantes, mes
cousines)*

À ma chère et belle binôme : Feyrouz

À ma cher professeur M^{me} N. Matene

MARWA HADDAD



Dédicace



En témoignage d'amour et

*d'affection, je dédie ce modeste travail avec une grande fierté
à tous ceux qui me sont chers :*

** **A ma mère**, qui m'a soutenu et encouragé durant ces
années d'études. Qu'elle trouve ici le témoignage de ma profonde
reconnaissance, pour toute son assistance et sa présence dans ma vie.*

** **A mon père**, qui n'a jamais cessé de prier pour moi, et
de me soutenir pour que je puisse atteindre mes objectifs.*

*Que Dieu vous protège et que la réussite soit toujours à ma portée
pour que je suis puisse vous combler de bonheur.*

** Ma belle-sœur **Oum Elkheir**, pour son soutien moral et ses
conseils précieux tout au long de mes études.*

** Mon cher fiancé **Abdelmadjid**, qui m'a aidé et supporté dans
les moments difficiles, et qui m'a partagé avec moi tous les moments d'émotion
lord de la réalisation de ce travail.*

** A ma binôme **Marwa**, pour son soutien indéfectible et sa patience sans
fin.*

** A tout **Mes amies** à qui je souhaite plus de succès.*

A tout ceux que j'aime





** A mon cher professeur Mme N. Matene*

Je suis très sensible à l'honneur que vous m'avez fait en me confiant ce sujet. Votre modestie et votre simplicité font de vous en plus de vos qualités professionnelles, une référence de bon sens de compétence. La gentillesse et la bienveillance avec lesquelles vous avez guidé mes pas dans ce travail ont suscité ma bonne volonté de donner de mon mieux. Veuillez trouver dans ce travail l'expression de ma haute considération, ma profonde reconnaissance et ma sincère gratitude.

Feyrouz

Résumé

Dans la plaine du Moyen Cheliff, les eaux souterraines constituent une ressource renouvelable très importante. Elles sont destinées à l'alimentation en eau potable, à l'irrigation et à l'industrie.

La présente étude a pour objectif de déterminer la méthode la plus appropriée pour estimer la vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale du Moyen Cheliff en vue de protéger leur qualité. Pour cela, nous avons cartographié la vulnérabilité par quatre méthodes (DRASTIC, Pesticide DRASTIC, DRIST, SI) avec l'intégration des systèmes d'informations géographiques (SIG). Les deux méthodes DRASTIC, Pesticide DRASTIC, est basée sur sept paramètres : (D) Profondeur de la nappe, (R) La recharge nette, (A) Type d'aquifère, (S) Type se sol, (T) Topographie, (I) Impact de la zone non saturée, (C) conductivité hydraulique, tandis que DRIST est basée sur les paramètres D, R, S, I, T. La méthode SI basée sur les paramètres D, R, A, T et l'occupation de sol. La validation des cartes par les nitrates a montré que la méthode DRIST est la mieux adaptée à la nappe du Moyen Cheliff avec 33% de concordance. Cette méthode indique les indices de vulnérabilité moyenne et faible dominant la plaine avec respectivement 57.8% et 33%.

Mots clé : Vulnérabilité, DRASTIC, Pesticide DRASTIC, DRIST, SI, Moyen Cheliff

ملخص

تعد المياه الجوفية في سهل شليف الأوسط مصدرًا متجددًا مهمًا للغاية. يتم استخدامه لتزويد المنطقة بمياه الشرب، ولري الأراضي الزراعية وفي الصناعة. الهدف من هذه الدراسة هو تحديد أنسب طريقة لتقدير قابلية التعرض للتلوث في المياه الجوفية الرسوبية المتوسطة من أجل حماية جودتها. لهذا الغرض، قمنا بتعيين نقاط الضعف بأربع طرق (DRASTIC، Pesticide DRASTIC، DRIST، SI) مع تكامل أنظمة المعلومات الجغرافية (GIS). تعتمد الطريقتان DRASTIC، Pesticide DRASTIC، على سبعة معايير عمق منسوب المياه، صافي التغذية، نوع الخزان الجوفي نوع التربة، DRIST، SI طريقة D، R، S، I، T، على المعلمات DRIST التوصيل الهيدروليكي، بينما يعتمد تأثير المنطقة غير المشبعة، واستخدام الأرض. لكل طريقة، تم ضرب درجة كل معلمة بالوزن لتحديد D، R، A، T بناءً على المعلمات هي الأنسب لطبقة المياه الجوفية DRIST المؤشرات. أظهر التحقق من صحة الخرائط بواسطة النترات أن طريقة الأوساط بموافقة 33%. تشير هذه الطريقة إلى أن مؤشرات الضعف المتوسط والمنخفض تهيمن على السهل بنسبة 57.8% و 33% على التوالي.

Abstract

The groundwater of the Middle Cheliff plain is a very important renewable resource. It is used to supply drinking water to the inhabitants of the region, irrigation and for industry.

The objective of this study is to determine the most appropriate method to estimate the vulnerability to pollution of the Middle Cheliff alluvial groundwater in order to protect their quality. For this purpose, we mapped the vulnerability by four methods (DRASTIC, Pesticide DRASTIC, DRIST, SI) with the integration of geographic information systems (GIS). The two methods DRASTIC, Pesticide DRASTIC, is based on seven parameters: (D) Depth of the water table, (R) Net recharge, (A) Type of aquifer, (S) Type of soil, (T) Topography, (I) Impact of the unsaturated zone, (C) Hydraulic conductivity, while DRIST is based on the parameters D, R, S, I, T. The SI method based on the parameters D, R, A, and land use. The validation of the maps by nitrates showed that the DRIST method is the most suitable for the Middle Cheliff aquifer with 33% agreement. This method indicates the indices of medium and low vulnerability dominate the plain with 57.8% and 33% respectively.

Keywords : Vulnerability, DRASTIC, Pesticide DRASTIC, DRIST, SI, Middle Cheliff

Sommaire

Introduction générale.....	1
Chapitre I. Synthèse bibliographique	3
1. Notion de la vulnérabilité	3
2. Types de vulnérabilité :	3
3. Critères de vulnérabilité :	4
3.1. Critères de vulnérabilité intrinsèque	4
3.2. Critères de vulnérabilité spécifique.....	4
4. Méthode de Cartographie de vulnérabilité à la pollution	5
5. Qualité des eaux souterraines	6
6. Sources de pollution des eaux souterraines.....	7
7. Protection des eaux souterraines.....	8
8. Systèmes d'informations géographiques (SIG) et cartographie	8
Chapitre II. Présentation de la zone d'étude	11
1. Situation géographique.....	11
2. Contexte Hydro climatique.....	12
2.1. Précipitation.....	12
2.2. Température.....	13
2.3. Humidité.....	14
3. Contexte pédologique.....	15
4. Contexte Géologique et hydrogéologique.....	15
5. Occupation de sols.....	20
Chapitre III. Matériel et méthodes.....	22
1. Acquisition des données	22
2. Méthodes pour l'estimation de la vulnérabilité	23
2.1. Méthode DRASTIC et Pesticide DRASTIC	23
2.2. Méthode DRASTIC modifiée ou DRIST (Sinan et al.,2001).....	26
2.3. Méthode SI.....	26
2.4. Validation des cartes de vulnérabilité	28
Chapitre IV. Résultats et discussion	30
1. Application de la méthode DRASTIC dans la zone d'étude.....	30
2. Réalisation des cartes thématiques	31
2.1. Profondeur de plan d'eau (D).....	31
2.2. Recharge efficace (R)	33

2.3.	Type d'aquifère (A).....	34
2.4.	Le type de sol (S).....	35
2.5.	Topographie (T).....	37
2.6.	Impact de la zone vadose ou zone non saturée (I).....	38
2.7.	Conductivité hydraulique de l'aquifère (C)	39
3.	Réalisation de la carte de la vulnérabilité par la méthode DRASTIC	40
4.	Application par la Méthode Pesticide DRASTIC de la nappe Moyen Cheliff :	42
5.	Application par la Méthode DRASTIC modifiée (DRIST) à la nappe du Moyen Cheliff	43
6.	Application de la Méthode SI	45
7.	Validation des cartes par les Nitrates (NO ₃) :	47
	Conclusion Générale	48

Liste des Figures

Figure 1. Situation de la zone d'étude	11
Figure 2. Variation mensuelle des précipitations	12
Figure 3. Variation de la température moyenne mensuelle	14
Figure 4. Variation de l'humidité relative mensuelle	14
Figure 5. Carte géologique du Moyen Cheliff occidental	16
Figure 6. Carte da Paramètre « D » Profondeur d'eau	33
Figure 7. Carte de paramètre « R »	34
Figure 8. Carte du Paramètre « A »	35
Figure 9 . Carte du paramètre S	36
Figure 10. Carte de Paramètre « T »	38
Figure 11. Carte du paramètre « I »	39
Figure 12. Carte du paramètre « C »	40
Figure 13. Carte de vulnérabilité à la pollution par la méthode DRASTIC	42
Figure 14. Carte de vulnérabilité à la pollution par méthode Pesticide DRASTIC	43
Figure 15. Carte de vulnérabilité à la pollution par la méthode DRIST	44
Figure 16. Carte de degré de vulnérabilité à la pollution méthode SI	46

Liste des tableaux

Tableau 1. Tableau comparatif des méthodes de cartographie de la vulnérabilité.....	6
Tableau 2. Coordonnées et précipitations moyenne annuelle, période (1981_2021) aux diffèrent stations. (Source : Power Nasa,2022).....	12
Tableau 3. Précipitations moyennes mensuelles 1981-2021 (Source Power Nasa,2022).....	12
Tableau 4 les coordonne et les précipitations moyenne annuelle, période (1981_2021) aux diffèrent stations. Source : Power Nasa, 2022)	13
Tableau 5. Températures moyennes mensuelles (1981-2021) (Source Power Nasa, 2022)	13
Tableau 6. Humidité relative (%) moyenne annuelle mensuelle.....	14
Tableau 7. Cotes des paramètres	25
Tableau 8. Poids attribués aux paramètres SI.....	27
Tableau 9. Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode SI.	27
Tableau 10. : Récapitulatif des poids des paramètres pour chaque méthode.....	27
Tableau 11. Récapitulatif des indices de vulnérabilité.....	28
Tableau 12 Les différentes sources d'informations utilisées pour l'évaluation des paramètres DRASTIC.....	30
Tableau 13 L'indice de vulnérabilité partiel du paramètre profondeur du l'eau I_D	32
Tableau 14. L'indice de vulnérabilité partiel du paramètre nature de l'aquifère I_A	35
Tableau 15. Indice de vulnérabilité partiel du paramètre type de sol I_S	36
Tableau 16. Indice de vulnérabilité partiel du paramètre impact de la zone non saturée « I_I ».....	38
Tableau 17. Récapitulatif des résultats.....	46
Tableau 18. Validation des cartes par les nitrates	47

INTRODUCTION
GENERALE

Introduction générale

L'eau représente la vie, dont on est sensé la protéger contre toutes formes de pollution pour assurer sa pérennité. L'eau souterraine peut contenir des substances nocives, qui peuvent être d'origine naturelle (exemple : dissolution de minéraux dans les terrains traversés), mais aussi de cause anthropique (qui provient par exemple des activités agricoles ou industrielles). Ces deux types de contamination peuvent aussi être divisées en contamination ponctuelle (par exemple d'une usine polluante) ou de contamination diffuse (par exemple des pesticides ou fertilisants répandus sur des terres agricoles).

La vulnérabilité des nappes à la pollution c'est l'étude des possibilités de la propagation des polluants dans l'espace souterrain, lié à l'autoépuration naturelle du sol, donc à la présence des conditions indispensables à son action, elle est favorisée par la circulation de l'eau. (Castany, 1982).

Notre travail a été réalisé dans le but de localisation des zones vulnérable à la pollution application à la nappe alluviale du Moyen Cheliff. Pour cette étude, nous avons utilisé plusieurs méthodes et comparé celle qui est la meilleure, les méthodes utilisées sont DRASTIC, PESTICIDE DRASTIC, SI et DRIST

Pour ce faire, nous avons structuré notre travail en quatre (04) chapitres :

- Dans le premier chapitre, une étude bibliographique de la vulnérabilité et différent méthodes et types de vulnérabilité seront abordés,
- dans le deuxième chapitre nous présentons la zone d'étude la région Moyen Chélif
- Dans le troisième chapitre matériel et méthode, utilisation des méthodes de cartographie de vulnérabilité
- le quatrième chapitre présente les résultats obtenus ainsi qu'une discussion générale.

Chapitre I.

SYNTHESE
BIBLIOGRAPHIQUE

Chapitre I. Synthèse bibliographique

1. Notion de la vulnérabilité

La vulnérabilité est un terme introduit en hydrogéologie par Margat dans les années 60.

La vulnérabilité est liée aux propriétés spécifiques du contaminant. Cependant, d'autres l'associent aux activités humaines et à la qualité agro-pédologique des terrains de surface. (Saadia A et al 2007)

Alors, la vulnérabilité dépend du type de nappe, libre ou captive, et du mode de circulation de l'eau dans l'aquifère. Les nappes libres sont les plus vulnérables : les polluants d'origine superficielle peuvent diffuser librement dans le sol et la zone non saturée jusqu'au niveau piézométrique, Pour atteindre une nappe libre en milieux poreux, les polluants transportés par les eaux d'infiltration doivent franchir de nombreux obstacles : le sol, la zone non saturée, la zone saturée. (Malaki A et al.2007)

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

2. Types de vulnérabilité :

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

La vulnérabilité intrinsèque :

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

La vulnérabilité spécifique

La vulnérabilité spécifique (zone à risque) 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. La vulnérabilité spécifique décrit les impacts potentiels dus à l'utilisation du sol et des contaminants présents. Parfois la charge de contaminant au sol est considérée comme un paramètre dans l'évolution de la vulnérabilité.

3. 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)

3.1. Critères de vulnérabilité intrinsèque

Ce sont les paramètres hydrogéologiques en fonction desquels la migration de la pollution peut être accélérée ou au contraire freinée :

a) Sol et zone non saturée

Elle contient de l'air, de l'eau de rétention et de l'eau gravitaire en transit, sa base est imprégnée d'eau provenant de la remontée capillaire à partir de la zone saturée. Le transit des eaux de surface permet l'alimentation de la zone non saturée mais également peut provoquer sa pollution

b) Zone saturée Le type de nappe, qu'elle soit libre, semi captive ou captive, joue un rôle prépondérant dans la vulnérabilité. En effet, l'absence d'horizon imperméable entre la surface et le toit d'une nappe libre lui confère un caractère plus vulnérable qu'une nappe captive protégée par des couches imperméables (Hamza, 2007).

3.2. Critères de vulnérabilité spécifique

Ce sont les paramètres qui déterminent les caractéristiques des polluants :

a) Nature du polluant

Le transfert du polluant à travers le sol et la zone non saturée, dépend d'une part de la vitesse et de la direction d'écoulement et d'autre part, de la nature du polluant selon ses différentes caractéristiques, comme la solubilité, la viscosité et la densité.

b) Capacités dispersives et épuratoires des sols

En cas d'une pollution, les sols ont des propriétés épuratoires plus ou moins développées qui dépendent étroitement de la nature du polluant.

c) Intrusions marines

En cas de présence d'un biseau salé en équilibre avec une nappe d'eau souterraine, la salinisation de la nappe liée à une exploitation constitue une pollution potentielle.

d) Qualité des eaux du réseau hydrographique

La nature des eaux du réseau hydrographique peut affecter la qualité des eaux souterraines selon sa qualité, sa densité et le degré d'entretien...etc.

e) Typologie de l'occupation du sol

Il constitue un paramètre important dans l'évaluation de la vulnérabilité des nappes. En effet, certaines zones sont sujettes à des activités anthropiques apportant des modifications aux caractéristiques du milieu naturel à savoir : les activités agricoles, l'urbanisme, le développement industriel, touristique, ... etc.

f) Points sensibles

Certains sites comme les zones d'activités agricoles, de décharges, d'épandage de margines, augmentent significativement la vulnérabilité de la nappe.

4. Méthode de Cartographie de vulnérabilité à la pollution

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. Tableau comparatif des méthodes de cartographie de la vulnérabilité

Méthode	Auteurs	Année	Nombre de paramètre	Les paramètres
DRASTIC	Aller et al	1987	07	D : profondeur de la nappe / R : recharge A : type d'aquifère/ S : type de sol T : topographie / I : impact de zone vadose / C : conductivité hydraulique
GOD	Foster et al	1991	03	Le type de sol , les formation géologique , la profondeur de la nappe
RISKE	Petelet-Girau et al	2000	05	R : la roche aquifère / I : les conditions d'infiltration S : couverture protectrice ou sol / K : karstification E : Epikarst
SINTACS	Citivia	1990	07	Densité des réseaux d'écoulement/ Epaisseur de texture/ connexion aquifère/ eau de surface/ Recharge/ Zone non saturée/ Caractéristique hydraulique et topographie
SI	Ribeiro	2000	05	D : la profondeur de la nappe/R : la recharge efficace de l'aquifère /A : la lithologie de l'aquifère /T : la pente topographique du terrain / OS : occupation de sol

5. Qualité des eaux souterraines

La pollution est une dégradation ou une alternation de l'environnement, en général liée à l'activité humaine par diffusion direct ou indirect de substances chimiques, physiques ou biologiques qui sont potentiellement toxiques pour les organismes vivants ou qui perturbent de manière plus ou moins importante le fonctionnement naturel des écosystèmes.

Outre ses effets sur la santé humaine et animale, elle peut avoir pour conséquences la migration ou l'extinction de certaines espèces qui sont incapables de s'adapter à l'évolution de leur milieu naturel.

L'eau souterraine est la partie du cycle de l'eau qui se trouve au-dessous de la surface de la Terre. L'exploitation des eaux souterraines pour diverses utilisations humaines, a un impact sur

l'environnement. De même les changements dans l'environnement, qu'elle soit d'origine naturelle ou anthropique, ont le potentiel d'affecter la ressource en eau souterraine.

Les eaux souterraines sont dans la plupart des cas, de meilleure qualité que les eaux de surface car elles sont moins directement exposées aux polluants.

Cependant, si les polluants sont généralement plus discrets, elles peuvent persister beaucoup plus longtemps et il est difficile de remédier à la contamination. Etant donné que les eaux souterraines sont souvent utilisées pour l'alimentation en eau potable, leur protection vis-à-vis des polluants est un enjeu majeur.

Lorsque l'on considère la qualité des eaux souterraines et leur dégradation, il faut faire la différence entre la contamination naturelle et anthropique. Dans la plupart des cas l'eau souterraine est naturellement potable, et ne nécessite pas de traitement. Il y a quelques exceptions à travers le monde, où l'eau souterraine naturelle a des concentrations de divers matériaux solubles à des niveaux qui sont nocifs pour la santé humaine, animale ou végétale. Un cas bien connu est la forte concentration en arsenic de la nappe au Bangladesh. La salinisation est aussi un exemple de contamination naturelle, mais elle est très souvent aggravée par les activités humaines. Il semble que dans le contexte africain, la plupart des problèmes de qualité des eaux souterraines sont liés à :

- La baisse de la qualité des eaux souterraines en milieu urbain, en raison d'une combinaison de fuite de latrines / fosses septiques et des rejets d'effluents non contrôlés de l'industrie, des eaux usées et des zones d'enfouissement municipales.
- La salinisation des eaux souterraines due à un excès de prélèvement pour l'irrigation, conduisant à une baisse de qualité des eaux souterraines
- L'intrusion saline en raison de l'abaissement de la nappe par des forages de production d'eau non loin ou dans les zones côtières.

6. Sources de pollution des eaux souterraines

Les nappes d'eau souterraine sont vulnérables à de nombreuses sources de pollution différentes. 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. Les charges de pollution sont relativement faciles à identifier, en particulier la pollution ponctuelle, mais c'est la vulnérabilité du système aquifère en combinaison avec la charge de pollution qui conduit à l'évaluation du danger de pollution encouru par les eaux souterraines.

Des données hydrogéologiques comme l'épaisseur et les propriétés hydrauliques, telles que la perméabilité de la zone non saturée sont nécessaires pour évaluer la vulnérabilité des aquifères

à des charges de pollution. Le danger, encouru par la nappe d'eau souterraine, peut être déterminé en superposant les cartes des charges de la pollution avec les cartes de vulnérabilité des aquifères.

Les eaux souterraines sont soumises, de plus en plus intensivement, aux rejets volontaires d'effluents polluants, eaux usées ou eau de ruissellement pluvial en milieu urbanisé ou industriel. Les sources de contaminations des eaux souterraines sont multiples et sont liées à de nombreuses activités : 1-Les rejets urbains résultants de la collecte et du traitement des eaux usées des ménages, des locaux recevant du public, des commerces, ainsi que du ruissellement des eaux pluviales dans les zones urbaines, les dysfonctionnements de la collecte des eaux usées urbaines (mauvais branchements des particuliers, fuites et saturations des réseaux). 2-Les rejets agricoles résultants de la percolation des eaux de pluie dans les sols, de l'épandage de produits chimiques sur les sols (engrais, pesticides...). 3-Les rejets industriels dans le milieu naturel sans traitement : L'intensité de la contamination des eaux souterraines dépend de plusieurs paramètres notamment la nature des milieux traversés qui conditionne la vitesse d'infiltration.

7. Protection des eaux souterraines

Pour qu'un risque de pollution donné se traduise par une menace d'une source d'approvisionnement en eau souterraine, cela va dépendre principalement de son emplacement par rapport à la source d'eau / zone de captage et secondairement de la mobilité du/ des contaminant (s) concerné (s). Un certain nombre de zones de protection des eaux souterraines doit normalement être définie on se base sur les données hydrogéologiques, et sur le régime d'écoulement des eaux souterraines locales. Différents modèles analytiques et numériques sont disponibles à cet effet. L'échelle et l'intensité à laquelle l'étude, la cartographie et l'analyse des différents composants nécessaires pour évaluer les risques de pollution des eaux souterraines sont réalisées, varient en fonction de l'importance et de la sensibilité de la ressource en eau souterraine : la protection de l'approvisionnement en eau ou la conservation d'une ressource aquifère.

8. Systèmes d'informations géographiques (SIG) et cartographie

Le système d'information géographique combiné à la cartographie permet de réaliser des documents cartographiques, bien qu'il apparaisse comme un outil incontournable permettant d'organiser les couches d'informations et de les analyser dans le but d'en extraire les données. L'utilisation d'un SIG pour la gestion des ressources forestières concerne essentiellement la cartographie du terrain à étudier (les différentes cartes réalisées)

Les cartes réalisées de manière traditionnelle ne sont plus adaptées aux besoins actuels. La complexité et la diversité des données relatives à l'environnement ont favorisé le développement de systèmes capables de répondre aux besoins de collecte, d'analyse et de représentation de phénomènes environnementaux. Les Systèmes d'Information Géographique (SIG) et la télédétection sont devenus des outils incontournables pour la compréhension et le suivi des phénomènes dynamiques et, une nécessité pour l'orientation d'investissement et disposer d'arguments valables pour la prise de décisions (Missoumi et Tadjerouni, 2003).

Le SIG est l'ensemble des matériels et logiciels informatiques ainsi que des données géographiques avec lesquels les utilisateurs interagissent pour intégrer, analyser et visualiser les données, identifier les relations, les schémas et les tendances et trouver des solutions aux problèmes. Ce système est destiné à la capture, au stockage, à la mise à jour, à la manipulation, à l'analyse et à l'affichage des informations géographiques. Un SIG sert habituellement à représenter des cartes sous forme de couches de données qui peuvent être étudiées et utilisées à des fins d'analyse (ESRI, 2004).

Les domaines d'application des SIG sont aussi nombreux que variés. Habert (2000), donne une liste de ces principales applications :

- * Tourisme (gestion des infrastructures, itinéraires touristiques)
- * Marketing (localisation des clients, analyse du site)
- * Planification urbaine (cadastre, voirie, réseaux assainissement)
- * Protection civile (gestion et prévention des catastrophes)
- * Transport (planification des transports urbains, optimisation d'itinéraires)
- Hydrologie
- * Forêt (cartographie pour aménagement, gestion des coupes et sylviculture)
- * Géologie (prospection minière)
- * Biologie (études du déplacement des populations animales)
- * Télécoms (implantation d'antennes pour les téléphones mobiles)

Chapitre II.

Présentation de la Zone d'Etude

Chapitre II. Présentation de la zone d'étude

1. Situation géographique

Le grand bassin du Chelif correspond à une cuvette intra montagneuse située au Sud – Ouest d'Alger. Il est circonscrit à l'intérieur des chaînes de l'Atlas Tellien parallèlement au littoral méditerranéen.

Selon la nouvelle structuration des unités hydrographiques de l'Algérie, le bassin versant du moyen Chélif appartient à l'ensemble du Chelif – Zahrez et occupe sa partie Nord. Il est drainé par l'oued Chlef qui le traverse sur une longueur de 750km avant qu'il ne se déverse dans la méditerranée à proximité de Mostaganem.

La zone étudiée qui appartient à trois sous bassins versants de la plaine du moyen Chélif (sous bassins versants de l'Oued Ras-Ouahrane, l'Oued Sly et l'Oued Chelif- Ouarizane) est limitée au Nord par la partie Sud de la chaîne du Dahra, Au Sud par le massif de l'Ouarsenis occidental, à l'Est par les sous bassin O. Fodda et Tighazel et l'Ouest par le bas Chelif Le bassin du moyen Chelif occidental englobe deux sous bassin versants : O. Ras-Ouahrane et O. Sly codés respectivement (0122 et 0123) et une partie du sous bassin O. Chelif-Ouarizane codé (0124).

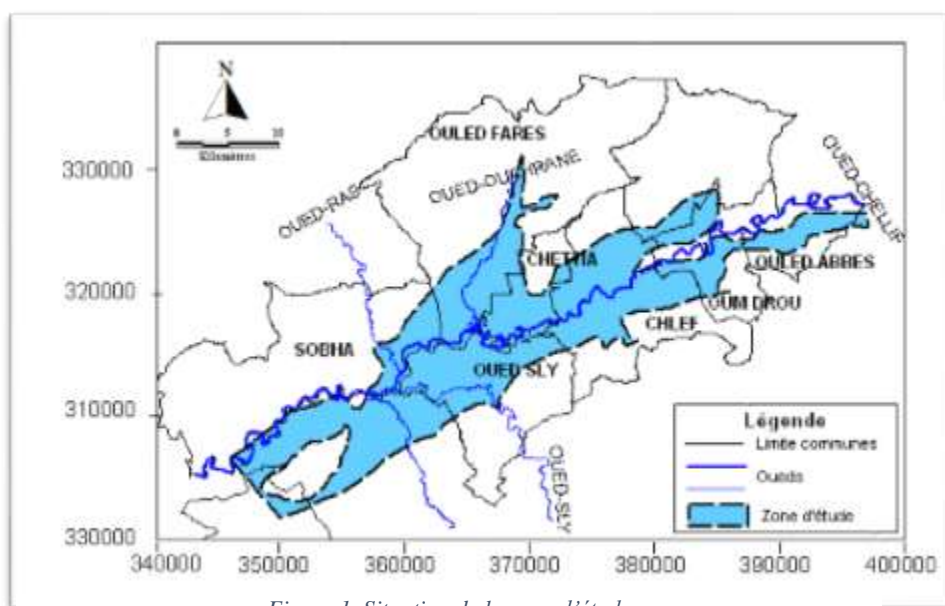


Figure 1. Situation de la zone d'étude

2. Contexte Hydro climatique

2.1. Précipitation

Dans toute étude hydrogéologique, l'hydro-climatologie tient une place importante parce qu'elle permet d'établir un bilan hydrique et de déterminer la quantité d'eau qui assure la recharge des nappes.

Tableau 2. Coordonnées et précipitations moyenne annuelle, période (1981_2021) aux différents stations. (Source : Power Nasa, 2022)

Nom	y	x	Z	Moyenne annuelle
Ouled Fares	36,289	1,244	194,91	333,35
Boukadir	36,145	1,066	385,04	448,77
Mazouna	36,069	0,855	203,3	397,35
Oued Fodda	36,174	1,681	717,75	484,83

Pour assurer une bonne représentation de notre région le réseau mesures comporte plusieurs stations qui couvrent presque toute la zone d'étude. Nous avons retenu 4 stations à une période de 40 ans allant de 1981-2021.

Tableau 3. Précipitations moyennes intermensuelles 1981-2021 (Source Power Nasa, 2022)

mois	jan	fev	mars	avr	mai	jun	jul	aoû	sep	oct	nov	dec
O. Fares	43,98	39	35,4	33,7	21,32	5,59	1,3	3,45	17,2	30,46	62,31	39,64
Boukadir	59,8	57,9	51,6	52,3	32,32	8,24	1,94	7,01	22,7	38,49	67,17	49,26
Mazouna	50,67	46,3	47,2	46,2	29,69	8,04	1,94	6,55	20,5	34,88	59,93	42,45
O. Fodda	67,52	61,7	57,5	50,9	38,64	11,46	1,86	7,91	23,5	35,01	67,24	61,77

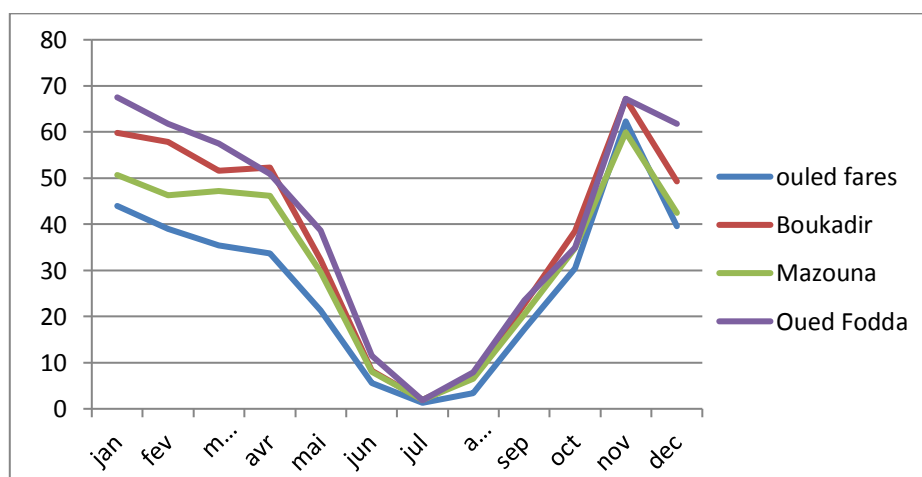


Figure 2. Variation mensuelle des précipitations

Les graphes des précipitations moyennes mensuelles il y a deux périodes : Une période sèche entre Juin et Aout et une 2eme période pluviale de septembre à Mai

Les précipitations moyennes maximales de la précipitation Ouled Fares, Boukadir et Mazouna dans le mois de Novembre (62.31 mm , 67.17mm et 59.93 mm) et Oued Fodda dans le mois de janvier (67.52 mm). Les précipitations moyennes minimales sont enregistrées les mois Juin à Aout, le mois Juillet est le plus sec sont enregistré la précipitation entre (1.3mm et 1.94mm)

Tableau 4 les coordonne et les précipitations moyenne annuelle, période (1981_2021) aux diffèrent stations.

Nom	X	Y	Z	P Moyenne interannuelle (mm)
ouled fares	1,244°	36,289°	194,91	333,35
boukadir	1,066°	36,145°	385,04	448,77
mazouna	0,855°	36,069°	203,3	397,35
oued fodda1	1,681°	36,174°	717,75	484,83

Source : Power Nasa, 2022

2.2.Température

Le tableau ci -dessous regroupe les températures moyennes mensuelles et moyennes annuelles (max, min et moy) de *POWER-NASA* de la période (1981-2021)

A partir de tableau la température moyenne mensuelles enregistré deux périodes : la 1^{ère} période froide de Septembre à Mai le mois de janvier est plus froide 2.38°C et la 2em période chaude Juin à Aout le mois d'Aout le plus chaude de 40.49° c

Tableau 5. Températures moyennes intermensuelles (1981-2021) (Source Power Nasa, 2022)

mois	jan	fev	mar	avr	mia	jun	jul	aout	sep	oct	Nov	Dec
max	21,1	23,4	27,05	30,25	33,71	38,2	40,8	40,49	37	32	27,15	22,1
min	2,38	2,85	4,25	7,02	10,02	14,3	18,4	19,45	16	11	6,83	3,42
T:moyM+moym/2	11,8	13,1	15,65	18,635	21,865	26,2	29,6	29,97	26	22	16,99	12,7

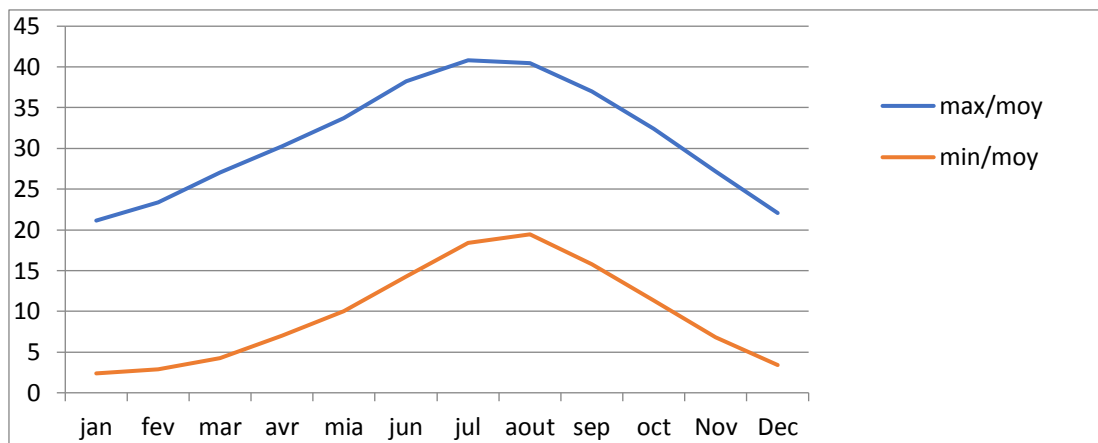


Figure 3. Variation de la température moyenne mensuelle

2.3. Humidité

L'humidité relative en hiver est nettement supérieure, les mois les plus humides sont les mois de Novembre, décembre, janvier, février

Tableau 6. Humidité relative (%) moyenne intermensuelle

mois	jan	feb	mars	avr	mai	jun	juil	aout	sep	oct	nov	déc
Humidité%	76,06	75,07	72,67	70,2	68,6	65,2	62,3	63,83	68,76	70,85	73,84	76

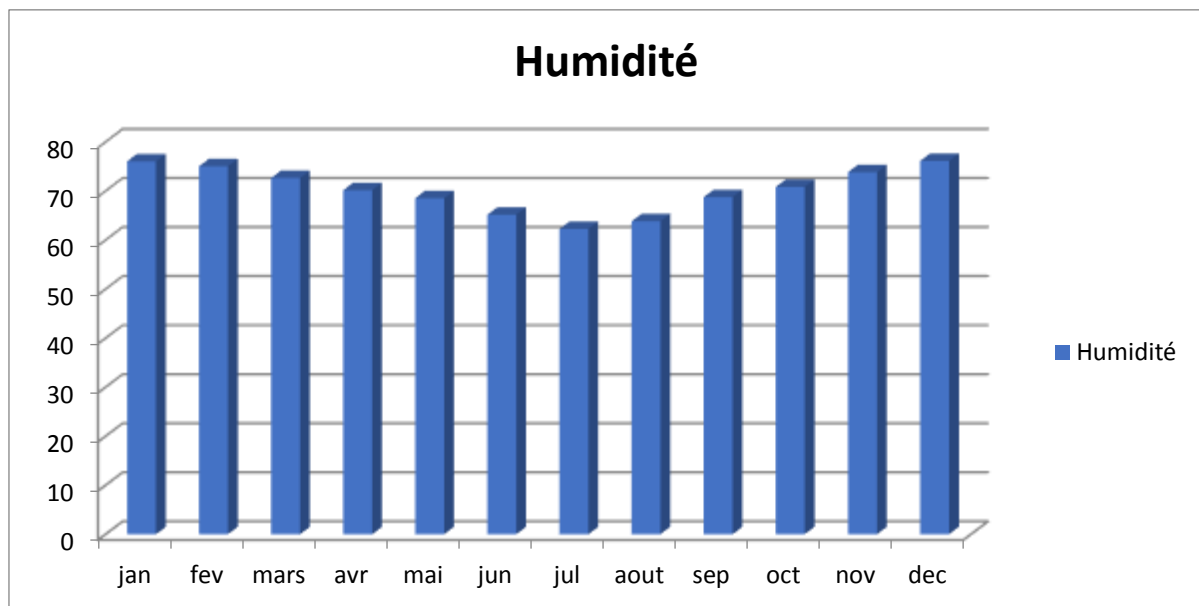


Figure 4. Variation de l'humidité relative intermensuelle

D'une manière générale et malgré la proximité de la mer, la région de Chlef possède un climat particulier, caractérisée par une longue période estivale sèche et chaude et une saison hivernale pluvieuse et froide.

3. Contexte pédologique

Les études pédologiques se rapportant à la vallée du Cheliff sont nombreuses (BOULAINÉ, 1957; SCET AGRI, 1984b). Il existe deux grands ensembles :

- Les sols de piémont, observés uniquement sur les bordures de la vallée ; ils sont toutefois bien représentés dans les plaines de l'Abiadh Medjadja et de Ouled Fares ainsi que dans l'extension ouest. Ils sont de texture équilibrée (25 % sable, 35 % limon et 40 % argile), profonds et bien structurés et présentent de ce fait une très bonne perméabilité. Ces sols sont caractérisés par des teneurs moyennes en carbonates et par une faible salinité ($CE < 2 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) (SCET AGRI, 1984b); toutefois, leur irrigation par des eaux minéralisées peut être responsable d'une salinisation secondaire.
- Les sols de plaine, alluviaux, de texture généralement variable, localement tirsifiés (argileux). Les sols lourds ($> 40 \%$ d'argile en moyenne) sont importants sur les formations alluviales plus récentes telles que la plaine de Boukadir, nord-ouest de Oued Sly et sud-ouest d'Ech-Chettia; ils peuvent montrer des signes d'hydromorphie et de salinité (conductivités comprises entre 2 et 4 $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ un drainage interne déficient, ce qui provoquerait la baisse de la perméabilité déjà très faible. Le rapport C/N pour les deux types de sols dénote d'une bonne minéralisation, d'un faible taux d'azote minéralisable lié à la faible teneur en matière organique. (Bettahar et al. 2009)

4. Contexte Géologique et hydrogéologique

Le bassin du Cheliff appartient au bassin néogène de l'Algérie Centro occidentale, qui s'aligne parallèlement à la côte méditerranéenne formant des zones peu élevées par rapport aux chaînes secondaires plissées qui les encadrent. L'histoire est étroitement liée aux phases ultimes et paroxysmales de l'Orogenèse Alpine. Le bassin du Cheliff est un bassin subsidient de type intra montagneux fonctionnant en graben le long de grandes flexures bordières (Perrodon, 1957).

On rencontre comme ensembles lithologiques :

- Le substratum : Essentiellement secondaire sur ses bordures, représenté par les monts de l'Ouarsenis au Sud, du Dahra au Nord, et par les massifs : EPI métamorphiques à schistosités du Doui, Rouina et Temoulga à l'Est (Kireche, 1977).
- Les terrains allochtones mis en place lors des différentes phases tectoniques alpines (Eocène moyen. Miocène inférieur)

Identification des principaux aquifères

L'étude géologique, l'analyse litho-stratigraphique ainsi que des coupes hydrogéologiques réalisées et positionnées en ont permis de distinguer les terrains susceptibles de constituer les aquifères suivants:

- les grès associés à des conglomérats du Miocène inférieur,
- les calcaires à lithothamnium du Miocène supérieur,
- les grès astiens du Pliocène,
- les alluvions grossières du Quaternaire.

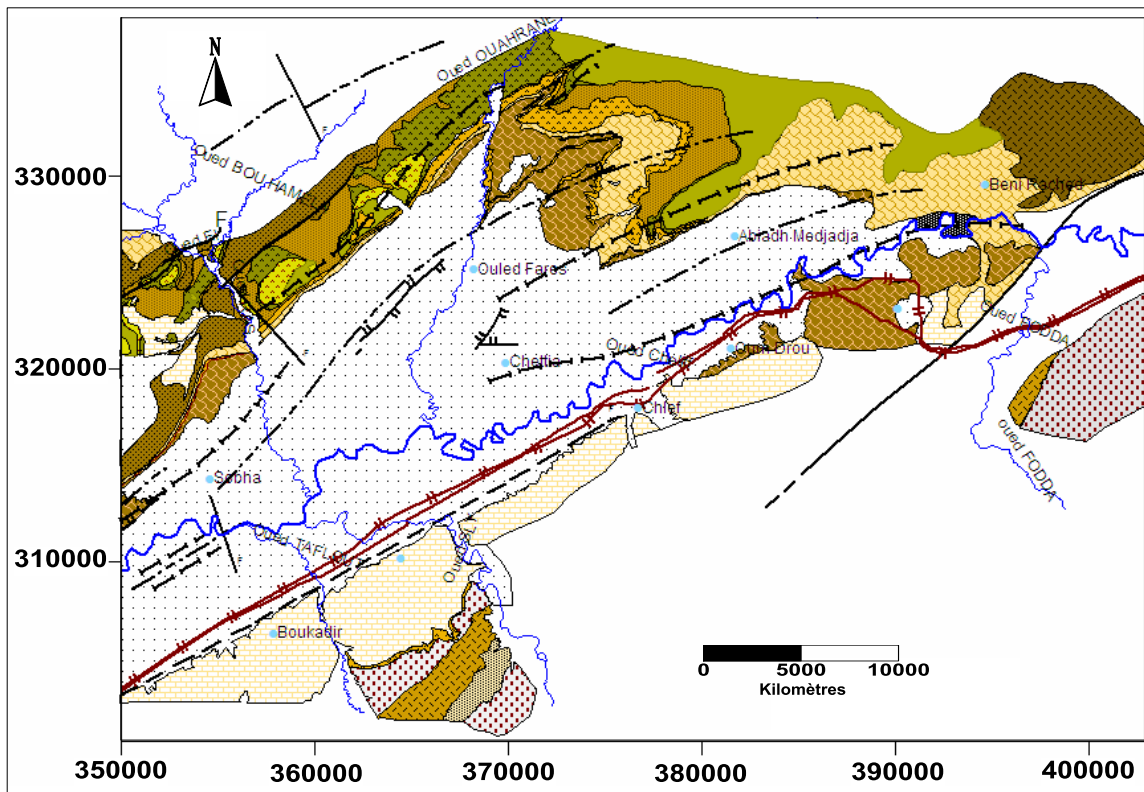
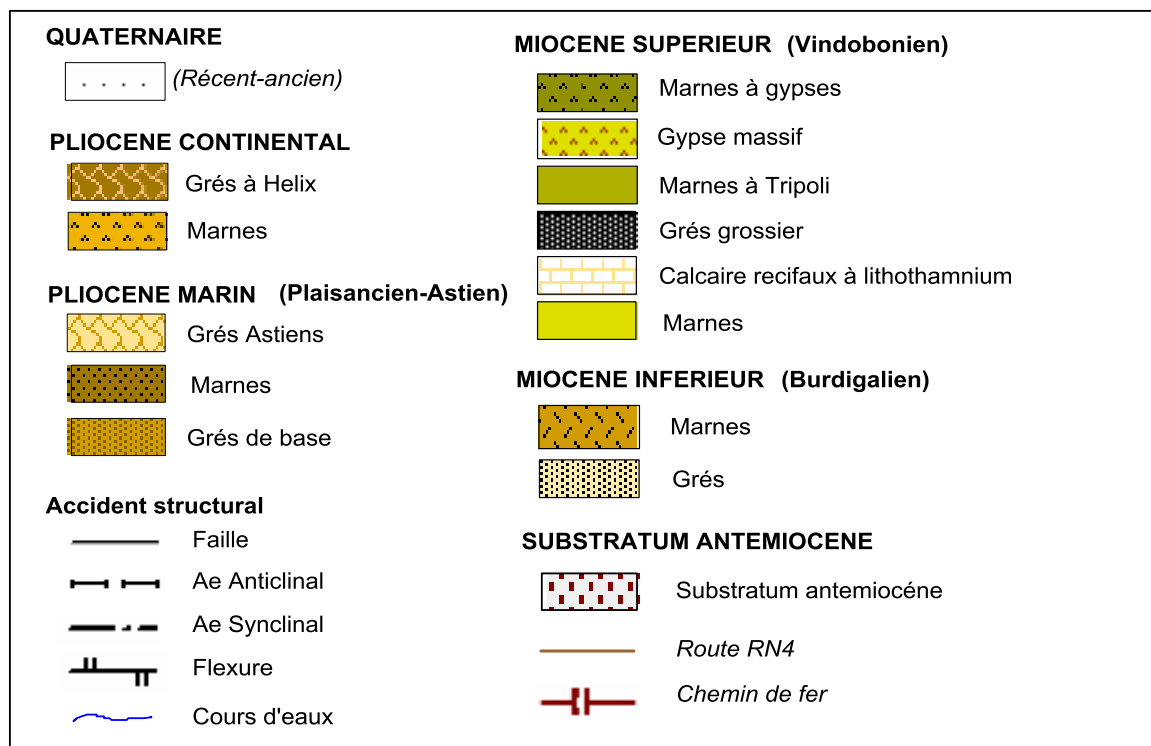


Figure 5. Carte géologique du Moyen Cheliff occidental d'après Scet-Agri ; 1985 (ELMEDDAHI Y, 2008)



Limites et Extension des nappes aquifères

A) Nappe aquifère des grés du Pliocène

Les grés à Hélix et les grés astiens affleurent selon une structure synclinale assez étroite dans les premiers contreforts des monts Dahra entre les collines d'El Kherba et l'oued Ouahrane. Ils sont en partie, entre l'oued Ras et l'oued Ouahrane recouverts par des formations quaternaires anciennes. L'intérêt de ces nappes est faible compte tenu de leur extension limitée et d'un drainage important par l'oued Ras.

B) Nappe aquifère des calcaires récifaux

Les calcaires récifaux affleurent selon une bande large au maximum de 5 Km au sud de la plaine. Des forages ont montré que le calcaire existait à des profondeurs variables en fonction de la position du forage : entre 0 et 170 m de profondeur.

Les niveaux piézométriques sont à 24 m sous le sol et paraissent être du même ordre de profondeur que ceux de la nappe des alluvions.

C) Nappe aquifère des dépôts quaternaires

Les études hydrogéologiques consultées considèrent le plus souvent dans la plaine une nappe superficielle et une nappe profonde. La nappe superficielle est

Contenue dans les matériaux fins de surface : limons principalement qui ne sont pas continus et peuvent passer latéralement à des argiles. Les alluvions grossières sous-jacentes à cette

couverture argilo-limoneuse contiennent la nappe profonde du quaternaire. Ces alluvions grossières forment un niveau continu avec des épaisseurs variables mais qui restent importantes sauf vers les limites d'extension.

L'hétérogénéité de tous ces dépôts quaternaires où les niveaux imperméables ne semblent pas exister sur de grandes surfaces, où les nappes des matériaux perméables ou semi perméables ont toujours la possibilité de communiquer entre elles directement ou par drainage sur de faibles épaisseurs conduit à admettre que la nappe aquifère contenue dans les dépôts quaternaires est unique (Scet Agri, 1984a). Il n'y a pas toujours mise en charge de la nappe des alluvions grossières sous les sédiments plus fins de surface.

Au nord de la plaine, le contact avec les formations Pliocènes se fait par des flexures. Mais la structure des monts Dahra est telle que la communication entre les nappes Pliocènes et la nappe Quaternaire ne fait intervenir qu'une frange limitée des premières. Une exception : la nappe des grès à Hélix du synclinorium de l'oued Chabet Habbid s'écoule dans la nappe quaternaire dans la zone de l'agglomération d'Ouled Fares (Achour, 1997).

Cependant, l'aquifère principal qui fait l'objet de notre étude est l'ensemble des niveaux perméables appartenant au Plio-Quaternaire, son substratum est représenté par les marnes bleues du plaisancien. Ils sont reconnus par leur liaison hydraulique directe avec les calcaires à Lithothamnium du Miocène supérieur (coupe AA). La limite supérieure de l'aquifère est constituée par les formations hydrogéologiques semi perméables, formées essentiellement par des éléments fins du quaternaire et la série rouge du Villafranchien au nord de l'oued Cheliff, CC et EE.

A l'amont, au seuil d'Oum Drou, le Miocène affleure dans le lit même de l'oued Cheliff qui coule sur les marnes à tripoli. Les profondeurs des alluvions grossières varient de 12 à 300 m avec une moyenne de 66 m (ANRH, 2004). Au dessous de la zone des sols, une importante épaisseur de matériaux argileux (souvent décrits comme argile plus plastique ou compacte, argile limoneuse ou sableuse) présente des épaisseurs moyenne et maximale de 23 m et 50 m. Ce profil argileux épais se trouve dans une grande partie de la zone centrale du secteur d'étude. Une couche mince de sable fin de 1 à 3 m d'épaisseur se trouve parfois à l'intérieur de la partie supérieure de ces sédiments argileux généralement entre 9 et 15 m de profondeur.

La répartition de cette couche est irrégulière et semble être horizontalement discontinue et est rapportée comme contenant des eaux salées. La profondeur de l'eau de la nappe, sous le sol, varie entre 8 et 19 m ; entre Chettia et Ouled Fares l'eau est plus profonde : entre 23 et 48 m. Les puits en bordure de l'oued Cheliff présentent des niveaux d'eau entre 2 et 3 m sous le sol

(Scet Agri, 1984a). Les valeurs des perméabilités du Quaternaire récent de surface se situent dans une fourchette très large: 1.10^{-5} à 1.10^{-11} m/s.

Pour ce qui est des alluvions grossières, les valeurs de leur perméabilité sont toutes sensiblement du même ordre de grandeur : K est en moyenne égal à 5.10^{-4} m/s. Quant aux valeurs des transmissivités, elles oscillent autour de 5.10^{-2} m²/s (Scet Agri, 1984a). Les débits spécifiques sont en général supérieurs à 2 l/s.m, ce qui dénote une assez bonne productivité des ouvrages.

Le réseau d'implantation géré par l'ANRH et l'ABH-CZ compte quatorze (14) forages et soixante et un (61) puits qui font objet de suivis piézométrique et hydrochimique annuels.

Cette nappe alluviale est exploitée pour les besoins en eau potable et d'irrigation des principales agglomérations de la zone centrale de la wilaya de Chlef ; d'après l'ANRH Chlef le volume exploité est de l'ordre de 16 Hm³ pour l'AEP, l'irrigation et l'industrie

L'étude de la carte piézométrique montrent une tendance globale similaire avec une légère différence dans les niveaux piézométriques ; elle montre des courbes iso pièzes fermées au centre de la plaine et ouvertes vers les bordures. Cela indique une alimentation à partir des bordures vers la plaine. Les lignes piézométriques perpendiculaires à l'axe de la vallée convergent vers le centre de la plaine avant de prendre une direction Est –Ouest parallèlement au cours de l'oued Cheliff.

Des dépressions sont observées dans la basse vallée de l'oued Ouahran dues à l'effet de pompes intensifs pour des fins agricoles. Le gradient hydraulique est très faible au centre de la plaine, il varie entre 6,36 et 7,37 10^{-4} m/m indiquant l'existence d'une zone à forte transmissivité et augmente progressivement vers les bordures dans un intervalle de 11,63 à 14,28 10^{-3} m/m. Ceci indique une faible perméabilité ou une pente importante des terrains de l'aquifère.

En plus des eaux météoriques, la nappe reçoit une importante alimentation du sud à partir des calcaires lithothamniées Miocènes. Elle reçoit une autre alimentation plus faible du nord à partir des zones de piémont appartenant aux formations Pliocènes (Achour, 1997).

D) Relation oued-nappe Les échanges oued-nappe peuvent avoir lieu dans les deux sens, dans un cas, l'oued a un rôle drainant, dans l'autre, il a un rôle d'alimentation. Les variations du niveau piézométriques dans l'aquifère sont liées à la pluviométrie et au niveau de la rivière associée. Cette relation oued-nappe crée des mouvements d'eau et garantit le fonctionnement de l'hydro système et des écosystèmes ; elle assure les écoulements superficiels en période d'étiage, le maintien en eau des plans d'eau et des fonds de vallée, et l'activité des zones humides et des zones de dénitrification en bas-fonds sur sols hydro morphes (SAGE, 2001).

Parce que l'Oued Cheliff a creusé son lit dans l'aquifère, une liaison directe existe d'une manière certaine car des puits sont implantés dans le lit mineur de l'oued Cheliff. Ce dernier joue un rôle prépondérant dans l'alimentation de la nappe, soit 30% du total des entrées et qui correspond à 1,4 m³/s (Achour, 1997).

Cette importante relation entre la nappe et l'oued Cheliff est une caractéristique générale des nappes alluviales en zone semi-aride et aride déjà signalée dans la région sur le bassin du haut Cheliff par Djedda (1987) et sur le moyen Cheliff par Bouzelboudjen (1987). Cela confirme par ailleurs la règle générale observée dans les zones arides à semi-arides, selon laquelle la recharge des nappes superficielles se fait principalement en période de crues des oueds (Bahir et al., 2002).

5. Occupation de sols

L'occupation du sol sur la zone d'étude est principalement agricole, et il n'est pas rare de trouver des zones où seule l'agriculture est présente sur d'importantes surfaces. Les zones non agricoles sont constituées de bâtiments, routes, chemins de fer et de zones boisées.

Les assolements rencontrés montrent généralement une dominance de l'arboriculture fruitière notamment les agrumes, concentrés sur la rive droite de l'oued Cheliff. Le maraîchage vient en seconde position et se pratique dans les parties nord, nord-est et ouest (Ouled Fares, Chettia, l'Abiadh Medjadja, Oum Drou, Sobha et Boukadir). Quant aux céréales et fourrages, leur production est limitée dans la partie est surtout, dans les communes l'Abiadh Medjadja et Oum Drou. Le périmètre irrigué du moyen Cheliff occidental est alimenté à partir des deux barrages: Oued Fodda et Sidi Yacoub (Oued Sly). Ces ouvrages régularisent respectivement 69 et 98 Hm³/an soit au total 167 Hm³/an d'eau pour les différents usages. Cependant, si déjà en 1987 un volume maximum de 75,57 Hm³ a été distribué, on a enregistré une forte diminution depuis, jusqu'à atteindre un volume distribué de 12,29 Hm³ en 2002. Cette diminution du volume distribué est due d'une part, à la demande des irrigants limitée par les superficies qu'ils mettent en valeur, et d'autre part, au fait que le barrage de Sidi Yacoub ait été affecté à l'alimentation en eau potable.

Cependant, les superficies irriguées à partir des eaux de puits domestiques, des eaux qualifiées de chargées à très chargées en nitrate, semblent incontrôlables par les services concernés et intéressent en particulier les zones de piedmont où se pratique le maraîchage.

Les pratiques industrielles se concentrent principalement dans des zones des trois communes : Oued Sly, Chlef et Chettia avec des natures et des productions différentes.



Chapitre III.

Matériel Et Méthodes

Chapitre III. Matériel et méthodes

Après avoir passé en revue les différents concepts, critères et méthodes intervenant dans l'estimation de la vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution, nous aborderons dans ce chapitre la méthodologie adoptée afin d'établir une étude comparative des méthodes de cartographie de la vulnérabilité des eaux de la nappe du Moyen Cheliff.

Pour cela, nous avons sélectionné 4 méthodes de cartographie à index, à savoir la méthode DRASTIC (Aller et al., 1985) qui est la méthode la plus utilisée à travers le monde, la méthode PESTICIDE DRASTIC (Aller et al., 1985), DRASTIC Modifiée ou DRIST (Sinan et al., 2001) et enfin la méthode Susceptibility Index SI (Riberio et al., 2000) dédiée aux milieux agricoles. Le choix de ces méthodes s'est basé sur une revue littéraire de travaux récents dans des contextes pédoclimatiques similaires à celui du Moyen Cheliff ainsi que sur leur précision ainsi que leur adaptation et facilité d'application.

1. Acquisition des données

Pour cartographier la vulnérabilité dans la plaine du Moyen Cheliff, nous avons utilisé plusieurs types de données constituées de fond cartographique numérisé et données numériques et brutes (*hard copy*) délivrées par les organismes consultés ou téléchargées via internet :

Fond cartographique numérisé :

- Cartes géologiques couvrant la nappe du Moyen Cheliff (cartes géologiques de Boukadir, Ouled Fares, Oued Fodda et Chlef à l'échelle 1/50 000)
- Carte pédologique de Moyen Cheliff à l'échelle 1/50 000
- Carte d'occupation de sol de la Wilaya de Chlef à l'échelle 1/25 000.
- Carte hydrogéologique de Moyen Cheliff

En plus des cartes numérisées, nous avons utilisé un modèle numérique de terrain Shuttle Radar Topographic Mission (SRTM), téléchargé via le site <http://www.glcf.umiacs.umd.edu>.

Données numériques et hard copy :

- Niveau piézométrique de la nappe du Moyen Cheliff (DRE)
- Données pluviométrique téléchargées via le Site PAWER NASA
- Analyses physico-chimiques de la nappe du Moyen Cheliff.
- Logs de 35 forages repartis sur la nappe du Moyen Cheliff, fournis par la Direction en ressources en eau de Chlef

2. Méthodes pour l'estimation de la vulnérabilité

L'étude de vulnérabilité de l'eau souterraine à la pollution est un outil qui permet d'identifier les régions les plus susceptibles à la contamination dans un aquifère donné. Ces cartes sont produites à l'aide d'un système d'information géographique qui rend possible le traitement numérique et géographique des données scannées par le biais d'opérations telles que la digitalisation ou l'interpolation, puis la superposition de ces dernières afin de produire des cartes thématiques servant de support d'aide à la décision. Dans cette étude a été faite par l'application de quatre méthodes que sont DRASTIC, PESTICIDE DRASTIC, DRIST, SI. Une fois les données collectées et la base de données constituée, le traitement géographique a été effectuée à l'aide des différentes fonctionnalités du logiciel ArcGIS 10.5 afin d'obtenir, d'abord les cartes intermédiaires de chaque paramètre, puis les cartes de vulnérabilités finales pour chaque méthode.

2.1. Méthode DRASTIC et Pesticide DRASTIC

La méthode DRASTIC est une méthode de détermination de la vulnérabilité d'une eau souterraine à être polluée, elle peut être utilisée pour l'estimation de la vulnérabilité aux pesticides, mais les indices utilisés sont différents (Aller *et al.*, 1987).

Cette méthode a été conçue dans les années 1980 par la National Water-Well Association suite à une demande de l'EPA. L'objectif était de réaliser une méthode d'estimation de la vulnérabilité intrinsèque applicable aux conditions hydrogéologiques rencontrées aux États-Unis. La méthode DRASTIC prend en compte sept paramètres, chaque première lettre d'un paramètre constituant le nom de cette méthode. Chacun des sept paramètres est affecté d'un facteur multiplicatif (Dp) qui va croissant de 1 à 5 selon l'importance du paramètre pour l'estimation de la vulnérabilité.

Ce poids est fixe pour chaque paramètre, mais change selon que l'on utilise DRASTIC ou pesticide DRASTIC.

(D) Le paramètre profondeur (*Depth*) à la nappe est coté comme un des deux plus important paramètres dans DRASTIC, avec un poids de 5.

(R) Le paramètre Recharge présente un poids de 4 dans DRASTIC.

(A) Le type d'Aquifère présente un poids de 3.

(S) Le type de Sol présente un poids de 2. Dans le manuel DRASTIC, un inventaire des différents types de sol (selon la classification de Chart, Soil Conservation Service, 1951) avec

les caractéristiques au niveau de l'augmentation du potentiel de contamination pour chacun, a été réalisé.

(T) La topographie est un des paramètres le moins important de DRASTIC avec un poids de 1, l'indice est spécifié en fonction du pourcentage de pente (les valeurs de référence sont 0 et 18%).

(I) L'Impact de la zone vadose est l'autre paramètre le plus important pour le modèle DRASTIC, en effet un poids de 5 lui est attribué.

(C) La Conductivité hydraulique a un poids de 3. Il en résulte un Indice de vulnérabilité calculé selon l'équation :

$$I = D_R D_w + R_R R_w + A_R A_w + S_R S_w + T_R T_w + I_R I_w + C_R C_w$$

Où R représente la cote du paramètre et w son poids.

La vulnérabilité augmente avec l'indice. A chaque paramètre est attribuée une échelle comprenant des intervalles où une cote est attribuée selon la particularité du milieu. Par exemple plus la profondeur à la nappe est grande plus la cote est faible. Il est possible d'utiliser cette méthode pour les aquifères confinés et les aquifères à surface libre, mais, il faut le faire séparément. La gamme possible de valeurs de vulnérabilité se retrouve entre **23 et 226** pour DRASTIC et **26 et 256** pour Pesticide DRASTIC. Les valeurs obtenues sont regroupées, selon ALLER et al. (1987), en cinq classes dont chacune correspond à un degré de vulnérabilité (Tableau 7) :

Tableau 7. Cotes des paramètres

<i>D : distance à la nappe [m]</i>		<i>R : recharge nette [mm/an]</i>	
<i>Classe</i>	<i>Cote</i>	<i>Classe</i>	<i>Cote</i>
0 – 1,5	10	>25,5	9
1,5 – 4 ,5	9	17,5 – 25,5	8
4,5 – 9	7	10 – 17,5	6
9 – 15	5	5 – 10	3
15 – 22	3	0 – 5	1
22, 5 – 30	2		
>30	1		

<i>A : nature de la zone saturée</i>		<i>S : nature du sol</i>	
<i>Classe</i>	<i>Cote</i>	<i>Classe</i>	<i>Cote</i>
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	3	Limon argileux	3
Shale massif	2	Argile non agrégée et non fissurée	1

<i>T : topographie, pentes [%]</i>		<i>I : nature de la zone non saturée</i>	
<i>Classe</i>	<i>Cote</i>	<i>Classe</i>	<i>Cote</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

<i>C : perméabilité de l'aquifère [m/s]</i>	
<i>Classe</i>	<i>Cote</i>
> 9,4.10 ⁻⁴ m/s	10
4,7.10 ⁻⁴ - 9,4.10 ⁻⁴	8
32,9. 10 ⁻⁵ - 4,7* 10 ⁻⁵	6
14,. 10 ⁻⁵ - 32,9 .10 ⁻⁵	4
4,7 .10 ⁻⁵ - 14,7. 10 ⁻⁵ m/s	2
4,7.10 ⁻⁷ - 4,7.10 ⁻⁵ m/s	1

2.2. Méthode DRASTIC modifiée ou DRIST (Sinan et al., 2001)

Proposée par Sinan pour École Hassania des Travaux Publics, se base sur les paramètres DRASTIC, relatifs à la zone non saturée de la nappe et le type de sol. En effet, les auteurs considèrent que seuls ces paramètres interviennent dans le transfert vertical de la pollution à partir de la surface du sol. Les autres paramètres de la méthode DRASTIC (perméabilité et nature lithologique) sont exclus.

2.3. Méthode SI

La méthode SI (Susceptibility Index ou méthode d'Indice de Susceptibilité), qui estime la vulnérabilité verticale spécifique à la pollution agricole (essentiellement par les nitrates et également par les pesticides), a été développée au Portugal par Ribeiro (2000). Cette méthode prend en considération cinq paramètres. Les quatre premiers paramètres sont identiques à quatre paramètres déjà utilisés dans la méthode DRASTIC (D : la profondeur de la nappe, R : la recharge efficace de l'aquifère, A : la lithologie de l'aquifère, et T : la pente topographique du terrain). Les cotes correspondantes aux différentes classes de ces paramètres, dans la méthode DRASTIC, ont été également conservées. Un cinquième nouveau paramètre a été introduit : le paramètre occupation des sols ou *Land Use* (LU). La classification utilisée pour ce paramètre est la classification CORINE Land Cover (European Community, 1993) (Tableau 2).

Une valeur appelée *facteur d'occupation des sols* et notée *LU*, variant de 0 à 100, est attribuée à chaque classe d'occupation des sols. Il est à signaler que les valeurs des cotes attribuées aux classes des différents paramètres ont été multipliées par 10 pour faciliter la lecture des résultats obtenus. Ces valeurs varient par conséquent de 0 à 100, allant du moins vulnérable au plus vulnérable.

Tableau 2 : Principales classes d'occupation des sols et valeurs correspondantes.

Occupation des sols selon la classification CORINE Land Cover	Valeur du facteur LU
Décharge industrielle, décharge d'ordures, mines	100
Périmètres irrigués, rizières	90
Carrière, chantier naval	80
Zones artificielles couvertes, zones vertes	75
Cultures permanentes (vignes, vergers, oliviers, etc.)	70
Zones urbaines discontinues	70
Pâturages et zones agro-forestières.	50
Milieux aquatiques (marais, salines, etc.)	50
Forêts et zones semi-naturelles	0

Les poids attribués aux paramètres SI varient de 0 à 1 selon l'importance du paramètre dans la vulnérabilité (Tableau 3).

Tableau 8. Poids attribués aux paramètres SI.

Paramètre	D	R	A	T	LU
Poids	0.186	0.212	0.259	0.121	0.222

La méthode SI présente quatre degrés de vulnérabilité selon les valeurs des indices obtenues (Tableau 4). Le calcul de l'Indice SI peut être résumé par la formule :

$$I_{SI} = Dc * Dp + Rc * Rp + Ac * Ap + Tc * Tp + LUC * LUp$$

Tableau 9. Critères 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

Dans le tableau suivant, on résume les poids de chaque paramètre pour les méthodes DRASTIC, DRIST, Pesticide DRASTIC et Susceptibility Index SI

Tableau 10. : Récapitulatif des poids des paramètres pour chaque méthode

Paramètre	Poids du paramètre			
	<i>DRASTIC</i>	<i>DRIST</i>	<i>Pesticide DRASTIC</i>	<i>SI</i>
Profondeur de la nappe	5	5	5	0.186
La recharge	4	4	4	0.212
Le type d'aquifère	3	<i>Non inclus</i>	3	0.259
Type de sol	2	2	5	<i>Non inclus</i>
Topographie	1	1	3	0.121
Impact de la zone non saturée	5	5	4	<i>Non inclus</i>
Conductivité hydraulique	3	<i>Non inclus</i>	2	<i>Non inclus</i>
Occupation du sol	<i>Non inclus</i>	<i>Non inclus</i>	<i>Non inclus</i>	0.222

Une fois les cartes créées pour chaque paramètre, les cartes de vulnérabilité finales sont obtenues par superposition des cartes intermédiaires pour reclassées suivant les degrés de vulnérabilité en respectant les indications de chaque méthode, y compris les code-couleurs adoptés. Le tableau ci-dessous récapitule les indices de vulnérabilité pour chacune des méthodes utilisées.

Tableau 11. Récapitulatif des indices de vulnérabilité

Degré de la vulnérabilité	Indice de vulnérabilité			
	<i>DRASTIC</i>	<i>Pesticide DRASTIC</i>	<i>DRIST</i>	<i>SI</i>
Très faible	<80	/	/	/
Faible	80-120	1-120	83 – 100	< 45
Moyen	121-160	121-160	101 – 145	45 – 64
Elevé	161-200	161-200	146 – 164	65 – 84
Très élevé	>200	>200	>164	85 - 100

2.4. Validation des cartes de vulnérabilité

Afin de tester la précision des méthodes utilisées, nous avons procédé à la validation des cartes. La validation s'effectue en comparant les analyses physico-chimiques des eaux de la nappe, et plus particulièrement les nitrates NO_3^- avec les degrés de vulnérabilité obtenus. Les points présentant de faibles concentrations en nitrates devraient se situer dans des zones à faible degré de vulnérabilité. De même pour les points à forte concentration en nitrates devraient se situer en zone à vulnérabilité élevée. Le nitrate est couramment utilisé pour la validation des cartes de vulnérabilité car c'est un élément qui n'est peu ou pas présent naturellement dans les eaux souterraines, ce qui en fait un bon indicateur de pollution anthropique.

Chapitre IV.

Résultats Et Discussion

Chapitre IV. Résultats et discussion

Dans ce chapitre, nous allons présenter les résultats obtenus pour la cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines de la plaine du Moyen Cheliff par les quatre méthodes sélectionnées (DRASTIC, Pesticide-DRASTIC, DRIST et SI).

Ce chapitre exposera donc les différentes cartes intermédiaires obtenues puis les cartes de vulnérabilité finales. Afin de déterminer la méthode la mieux adaptée, une validation sera réalisée par la comparaison des concentrations en nitrates enregistrées dans les eaux de la nappe du Moyen Cheliff.

1. Application de la méthode DRASTIC dans la zone d'étude

Les différentes sources d'informations utilisées pour l'évaluation des paramètres qui caractérisent la vulnérabilité de la nappe alluviale de la plaine du moyen Cheliff sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau 12 Les différentes sources d'informations utilisées pour l'évaluation des paramètres DRASTIC

Paramètre	Sources d'information
<i>Profondeur de la nappe</i>	Niveau statique relevé au niveau des coupes des forages (DRE CHLEF)
<i>Recharge</i>	Donnée pluviométrie de la région (POWER NASA) Carte pluviométrique de l'Algérie du Nord
<i>Type d'aquifère</i>	Coupes de forages situées dans la zone de Moyen cheliff (DRE CHLEF) La carte géologique de Moyen cheliff
<i>Type de sol</i>	La carte pédologie de la région 1/50000
<i>Topographie</i>	La carte de pente de la région (SRTM)
<i>Impact de la zone non saturé</i>	les cartes géologiques de Moyen cheliff 1/50000
<i>Conductivité hydraulique</i>	-la carte hydrogéologique de Moyen cheliff -Profondeur des logs forages (DRE CHLEF)

Le calcul et la cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale du Moyen Cheliff à été réalisés par la méthode DRASTIC, Pesticide-DRASTIC modifiée , DRIST et SI à l'aide du logiciel ArcGis 10.5 et l'extension Spatial Analyst. Le logiciel ArcGis permet l'intégration et la répartition spatiale des scores (cote x poids), attribués aux sept paramètres de la méthode DRASTIC et leur représentation sous le format Raster. Avec l'extension « Spatial Analyst » les shapefiles ont été convertis en Raster.

Chaque Raster représente la variation spatiale des scores (cote × poids). Le calcul des indices de vulnérabilité selon la méthode DRASTIC se fait directement par un calcul d'addition appliqué sur les sept rasters. Le résultat de ce calcul est l'élaboration d'une nouvelle couche d'information qui représente la variation de l'indice de vulnérabilité dans la zone d'étude.

Les étapes de l'élaboration de la carte de vulnérabilité sont les suivantes :

- ↪ Collecte des données
- ↪ Numérisation des données
- ↪ Calcul des scores (Cote x Poids)
- ↪ Attribution des scores
- ↪ Classification, et reclassification des sept paramètres spécifiques de la nappe
- ↪ Élaboration de la carte pour chaque paramètre spécifique de la nappe on mode Raster
- ↪ Calcul de l'indice de vulnérabilité global par la somme des sept cartes Raster des paramètres spécifiques de la vulnérabilité de la nappe
- ↪ Classification et élaboration de la carte vulnérabilité finale.

2. Réalisation des cartes thématiques

2.1. Profondeur de plan d'eau (D)

La profondeur du plan d'eau est un paramètre important, il détermine l'épaisseur des matériaux à travers lesquels un contaminant peut circuler avant d'atteindre le plan d'eau. Généralement, la capacité d'atténuation augmente avec la profondeur du plan d'eau (Riahi et al., 2008)

Pour la réalisation de la carte du paramètre profondeurs de l'eau « D » on a utilisé le niveau statique 2012 de 45 Forage de la nappe du Moyen Cheliff. La profondeur du la Plan d'eau dans la nappe Moyen Cheliff varie de 8 mètres dans la zone centrale de la nappe et à proximité de l'oued Cheliff et à plus de 33 mètres dans les bordures de la nappe.

Ces valeurs ont été classées selon les Classes établies dans les tables des systèmes de Cotation DRASTIC. Ces résultats montrent que :

- Classe 1 : 5 à 9 m qui représentent un pourcentage de 0.48 % de la région, occupe la partie centrale de la région Chlef et Boukadir. On a une cote de 7 donc la multiplication de la cote par le poids, on trouve un indice partiel (I_D) de vulnérabilité égale 35.
- Classe 2 : 9 à 15 m de profondeur qui représente un pourcentage de 32.54 % de la partie centrale de Moyen Cheliff et une cote de 5, et un indice de vulnérabilité $I_D = 25$
- Classe 3 : 15 à 23 m qui représentent un pourcentage de 61.69 % de la région, et occupe partie Nord et Sud présentent une cote de 3, et un indice de vulnérabilité 15.
- Classe 4 et classe 5 : 23 à 31 m et supérieur à 31 m, qui représente un pourcentage de 4.45 à profondeur de 23 à 31 m et 0.46% à > 31 m, qui occupe la région de nord Chlef et Oum Drou, l'indice de vulnérabilité partiel I_D égal respectivement 10 et 5.

Les faibles valeurs de vulnérabilité ont été trouvés dans les régions suivants : Oum Drou, Nord Chlef, Ouled Abbas, Chettia, Ouled Fares, Sobha, La plus grande valeur de vulnérabilité a été signalée au niveau de la zone de la région Chlef partie centrale et la zone de Boukadir qui varie à 35 et 45.

Tableau 13 L'indice de vulnérabilité partiel du paramètre profondeur de l'eau I_D

Intervalle DRASTIC	Poids	Cote	Indice partiel I_D
2 - 5	5	9	45
5 - 9		7	35
9 - 15		5	25
15 - 23		3	15
23 - 31		2	10
>31		1	5

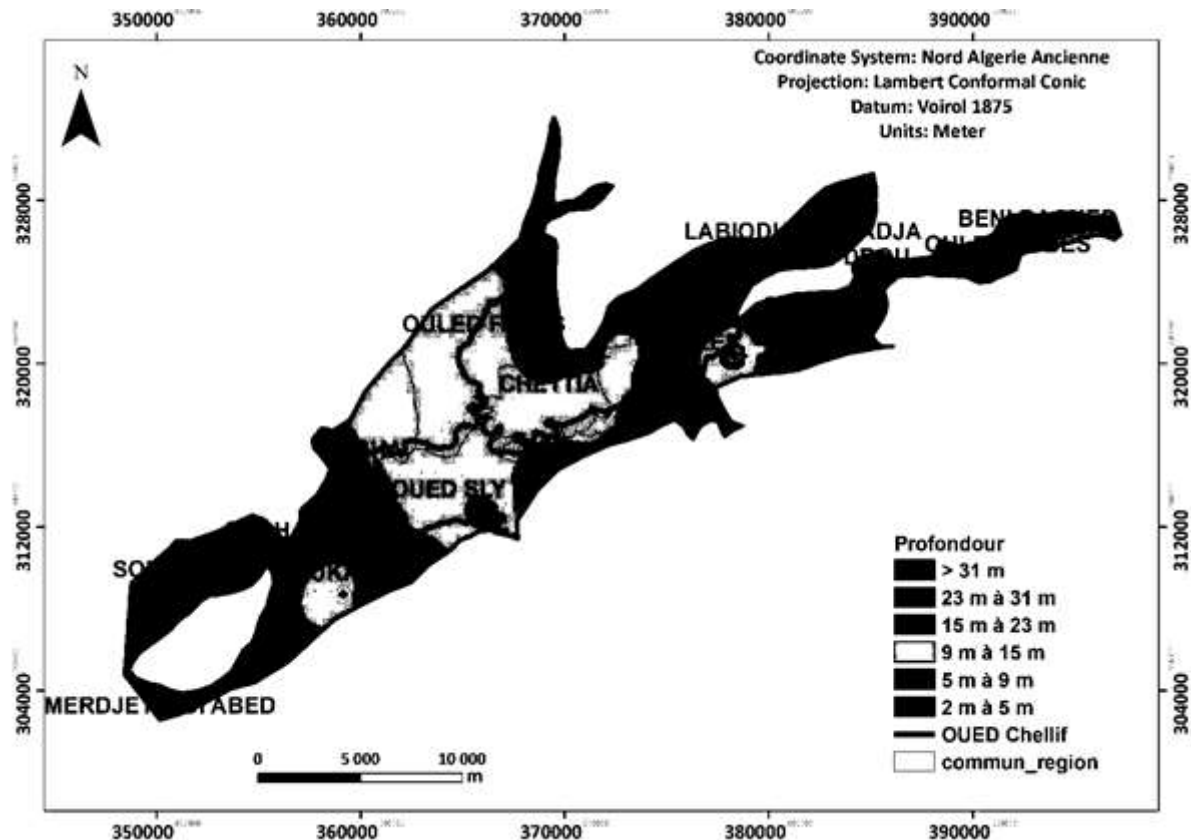


Figure 6. Carte du Paramètre « D » Profondeur d'eau

2.2.Recharge efficace (R)

La recharge de la nappe provient principalement de l'infiltration directe des eaux de précipitation à travers les sédiments grossiers des bordures et des eaux de ruissellements, La recharge correspond à la quantité d'eau franchissant la surface du sol pour renouveler les stocks d'eau souterraine et entretenir le débit de l'écoulement souterrain dans les formations aquifères. La recharge nette de la nappe dépend donc de l'infiltration directe à partir des eaux de pluie, l'alimentation continue et normale des oueds, en périodes de crues ou décrues (relation oueds – nappes)

L'évaluation de ce paramètre a été faite à partir de la méthode de Piscopo (2001). La carte intègre des caractéristiques comme la pente, la perméabilité du sol et les précipitations qui ont un rôle déterminant dans le calcul de la composante de recharge (Piscopo, 2001).

$$\text{Recharge} = \text{Pente (\%)} + \text{Précipitations} + \text{Perméabilité du sol}$$

L'application de la méthode de Piscopo montre quatre classes de recharge (Figure 7) :

- La région représente le lit majeur de l'Oued ou la recharge de la nappe est 9 à 11 cm cette partie de la nappe est la plus alimenté car elle reçoit en plus de l'eau de pluie, des eaux d'alimentation continue à partir des Oueds (Oued Cheliff).

- Classe 1 : 3 à 5 cm représente une superficie de 0.35 % avec une cote de 1 et un indice de vulnérabilité égale 4.
- Classe 2 : 5 à 7 cm représente une superficie de 13.77%, et une cote de 3, un indice de vulnérabilité égale 12,
- Classe 3 : 7 à 9 cm représente une superficie de 68.56% avec une cote de 5, et un indice de vulnérabilité égale 20.
- Classe 4 : 9 à 11 cm représente une superficie de 17.32% avec une cote de 8, avec l'indice de vulnérabilité le plus élevé 32.

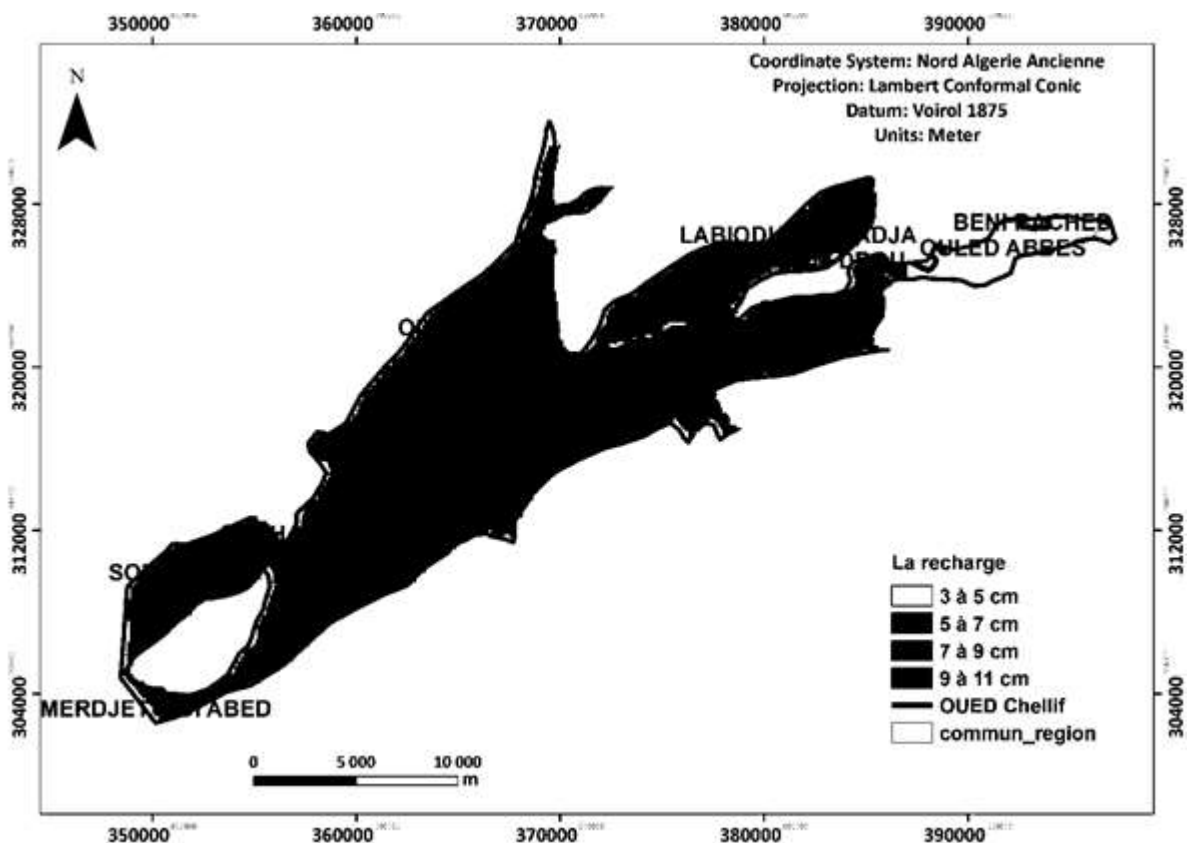


Figure 7. Carte de paramètre « R »

2.3.Type d'aquifère (A)

Le paramètre milieu aquifère dépend de la granulométrie des terrains saturés. Ce paramètre intervient dans le piégeage du polluant qui peut s'échapper au pouvoir d'absorption du sol. Plus la granulométrie est fine, plus le piégeage du polluant est important.

Son identification a été basée sur les logs et les coupes lithologiques des forages réalisés dans la zone d'étude Moyen Cheliff. Suivant la classification de la méthode DRASTIC, l'ensemble de la zone d'étude est situé en une seule classe (superficie 100%), caractérisé par un indice de

vulnérabilité partiel Ia= 24, constituée principalement soit par du Gravier soit par de Galet et Gravier sableux.

Tableau 14. L'indice de vulnérabilité partiel du paramètre nature de l'aquifère IA

Principale formation	Poids général	Cote	Indice partiel IA
– Gravier	3	8	24
– Galet et Gravier sableux			

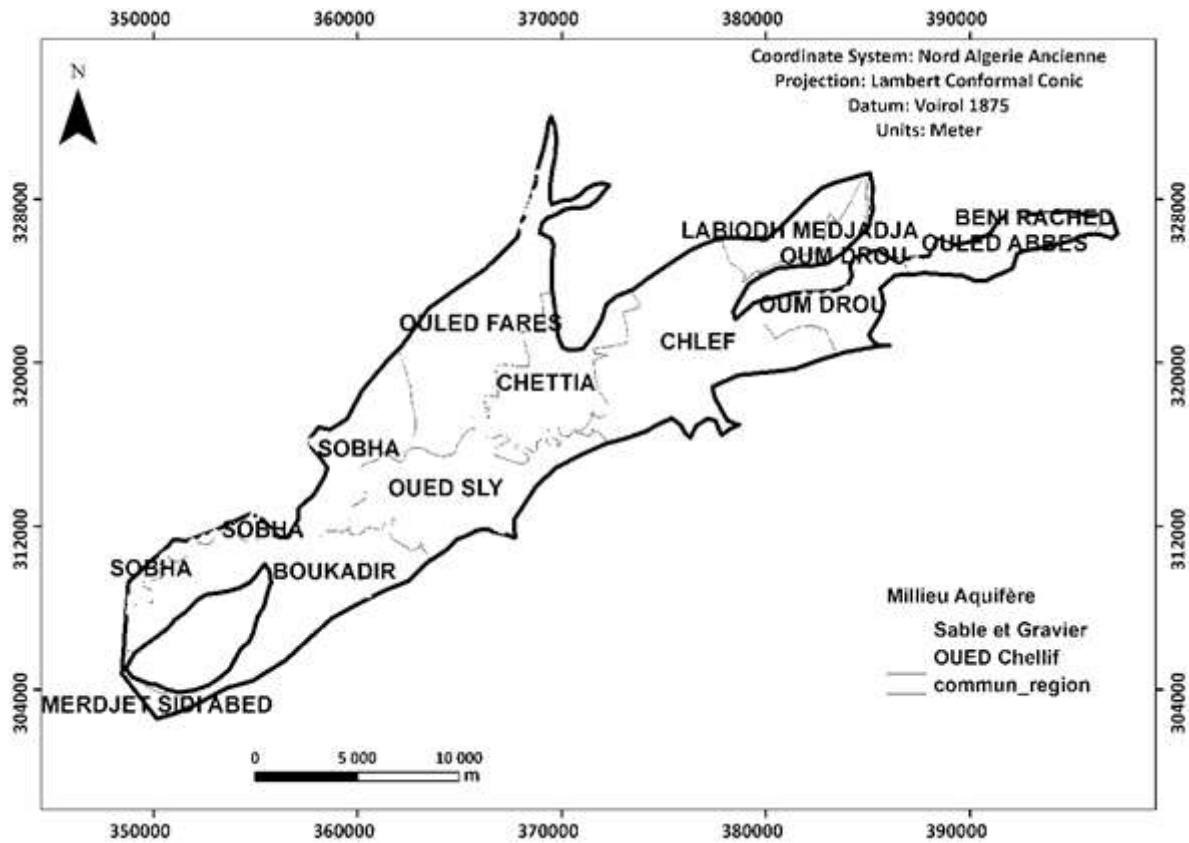


Figure 8. Carte du Paramètre « A »

2.4. Le type de sol (S)

La nature du sol a un impact considérable sur la contamination des nappes phréatiques par les polluants provenant de la surface. Elle peut réduire, retarder ou accélérer le processus de propagation de polluant vers l'aquifère. Plus le sol est riche en argile, plus l'absorption des polluants est importante, et plus la protection des eaux souterraines est grande.

Pour obtenir la carte du paramètre « Sol », nous avons procédé à la digitalisation de la carte pédologique de la plaine du Moyen Cheliff à l'échelle 1/50 000. Cette carte fait ressortir plusieurs classes ou types des sols suivants :

- Le sable occupe le lit majeur, de l'Oued Cheliff ainsi que le lit de l'Oued Sly et Oued Ras. Indice de vulnérabilité partiel Is est égal à 18.

- Limon sableux à superficie 9.02%, occupe la région Ouled Fares et Labiodh Medjadja, Oum Drou, correspond à un indice de vulnérabilité partiel $I_s = 14$.
- Limon, et limon argileux à superficie respectives de 7.81% et 11.87%, occupe la région de Chettia à l'indice de vulnérabilité varie entre 6 et 8
- Argile, à superficie 39.28%, l'indice partiel est égal à 2.

Tableau 15. Indice de vulnérabilité partiel du paramètre type de sol I_s

Type de sol	Poids général	Côte	Indice partiel I_s
Sable	2	9	18
Limon sableux		7	14
Limon		4	8
Limon argileux		3	6
Argile non fissurée		1	2

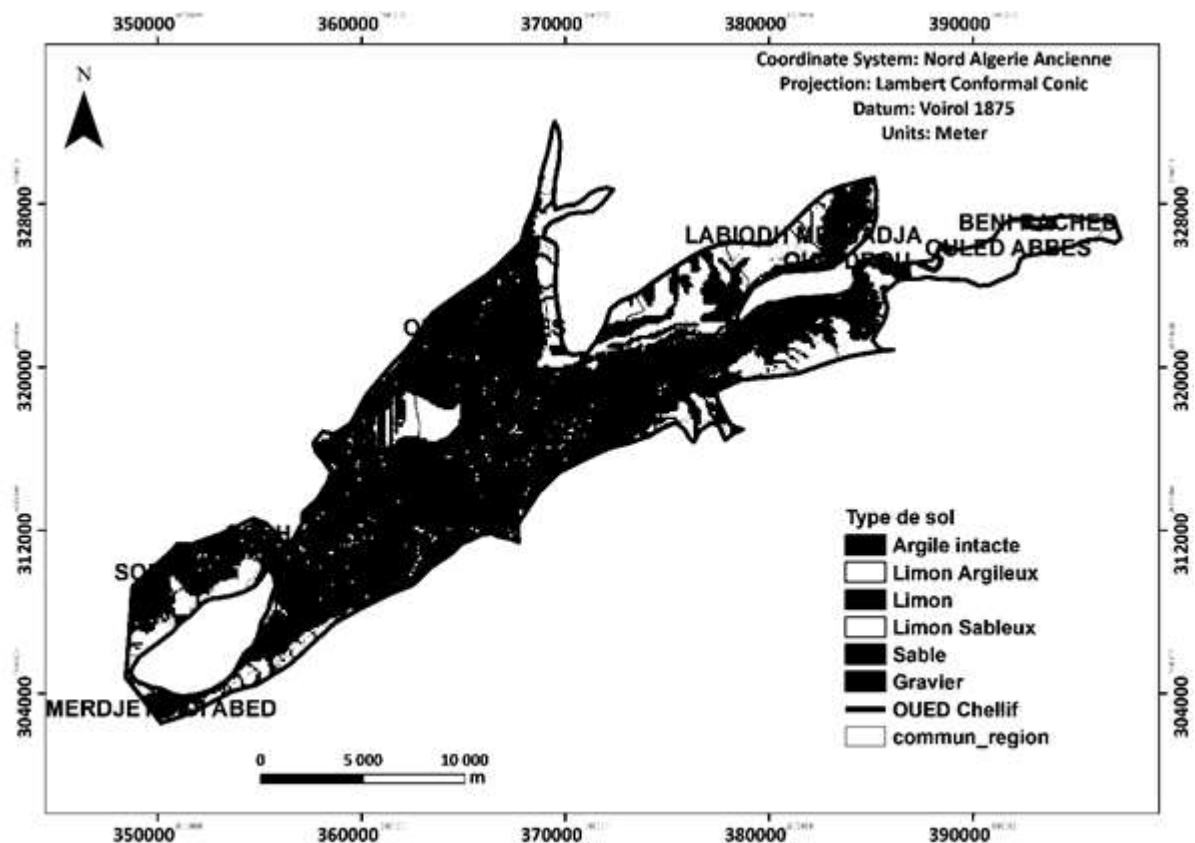


Figure 9. Carte du paramètre S

2.5. Topographie (T)

Le paramètre topographie est représenté dans la méthode DRASTIC par les valeurs de la pente. Ces valeurs sont calculées en pourcentage. La pente influence d'une part le taux d'infiltration et de ruissellement de l'eau dans les bassins versants et d'autre part l'érosion et le développement du sol.

La carte des pentes de la plaine du Moyen Cheliff a été établie par l'extraction de la zone d'étude à partir du modèle numérique de terrain, puis l'outil « Slope » du module Spatial Analyst a permis de calculer les pentes en pourcentage. La plaine de Moyen Cheliff représente :

- Classe 1 : qui représente la plus grande superficie 54.50% de plaine présente des pentes très faible entre 0 et 2 % et indice partiel $I_t = 10$
- Classe 2 : qui localisé à plaine de Medjadja , Ouled Fares , et Nord Chlef à superficie de 32.55 % présente des pentes entre 2 - 6 % et indice de vulnérabilité égale 9.
- Classe 3 : localisé dans les bordures de la nappe présente des pentes entre 6 - 12 % . et 8.73 % de superficie et indice de vulnérabilité $I_t = 5$.
- Classe 4 : localisé dans le centre de la région Chlef, et les bordures de Ouled Fares , Ouled Abbas , présente des pentes très élevée entre 12 et 18 % , et supérieur à 18 % , à l'indice de vulnérabilité égale 3 et 1.

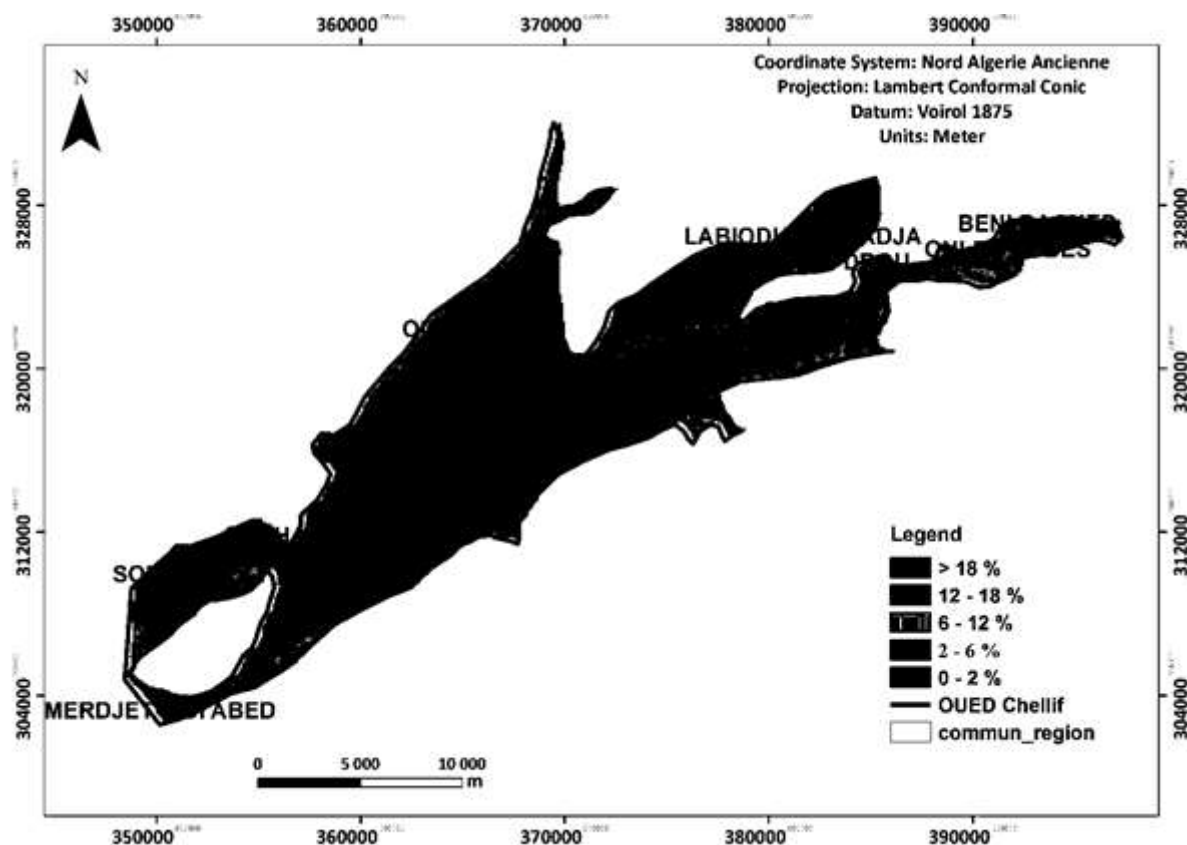


Figure 10. Carte de Paramètre « T »

2.6. Impact de la zone vadose ou zone non saturée (I)

La zone vadose ou zone non saturée correspond aux couches de terrain entre l'aquifère et le sol. Le processus de calcul et de cartographie du thème « I » est le même que celui de la zone saturée. La zone vadose ou zone non saturée correspond aux couches de terrain entre l'aquifère et le sol.

On distingue 2 zones caractérisées par un indice de vulnérabilité partiel différente :

- Zone 1 : le lit de l'Oued Cheliff à superficie 11.8 % et un cote 10, indice de vulnérabilité égale $I_i = 50$.
- Zone 2 : Grés ,Sable et Gravier à superficie 88.20%, et indice de vulnérabilité partielle égale 30

Tableau 16. Indice de vulnérabilité partiel du paramètre impact de la zone non saturée « I_1 »

Identifiant de la zone	Type de zone	Poids général	Côte	Indice partiel I_i
Zone 1	Lit d'oued	5	10	50
Zone 2	Grés , sable et Gravier		6	30

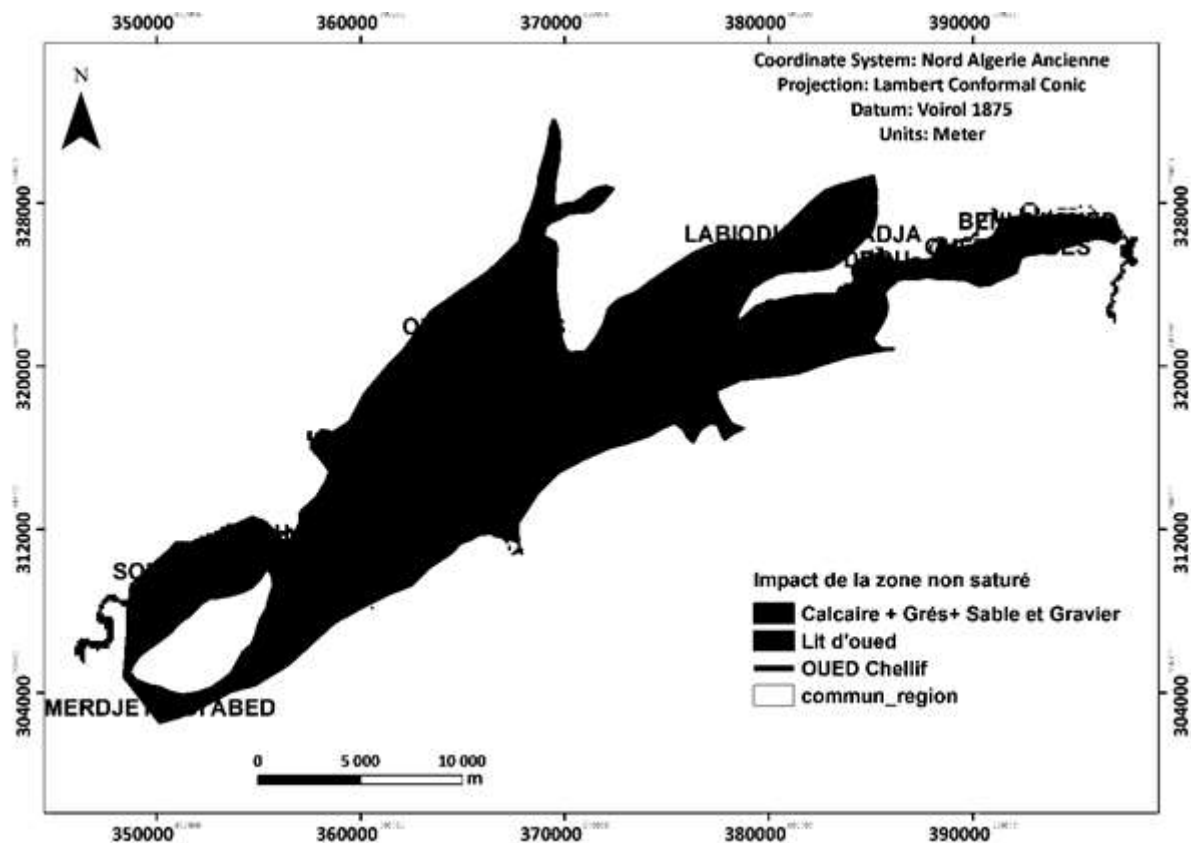


Figure 11. Carte du paramètre « I »

2.7. Conductivité hydraulique de l'aquifère (C)

La conductivité hydraulique contrôle la vitesse de propagation de polluant dans l'aquifère. Elle dépend de la lithologie de l'aquifère. La conductivité hydraulique (K) est directement en relation avec la transmissivité (T) et l'épaisseur des couches aquifères (b).

La carte de la conductivité hydraulique est déduite du rapport (T/b) des cartes de transmissivité et de l'épaisseur de l'aquifère. Les valeurs moyennes ainsi déterminées permettent de faire ressortir les différentes zones caractérisées chacune par un indice partiel I_c .

- Une zone centrale de la plaine Moyen Cheliff est caractérisée par un indice partiel $I_c=30$, qui correspond à une conductivité hydraulique supérieure à 81 m/j.
- Une zone centrale de la plaine et occupe la région de Ouled Fares. Ouled Abbas. Elle est caractérisée par un indice partiel $I_c= 24$, qui correspond à une conductivité hydraulique entre 41– 81 m/j.
- Une zone caractérisée par un indice partiel $I_c=18$ à une conductivité hydraulique entre 29 – 41 m/j.

- Une zone caractérisée par un indice partiel $I_c=12$ à une conductivité hydraulique comprise entre 12 – 29 m/j.
- Une zone caractérisée par un indice partiel $I_c=6$ à une conductivité hydraulique comprise entre 4– 12 m/j.
- Une zone caractérisée par un indice partiel $I_c=3$ qui correspond à une conductivité hydraulique inférieure à 4 m/j.

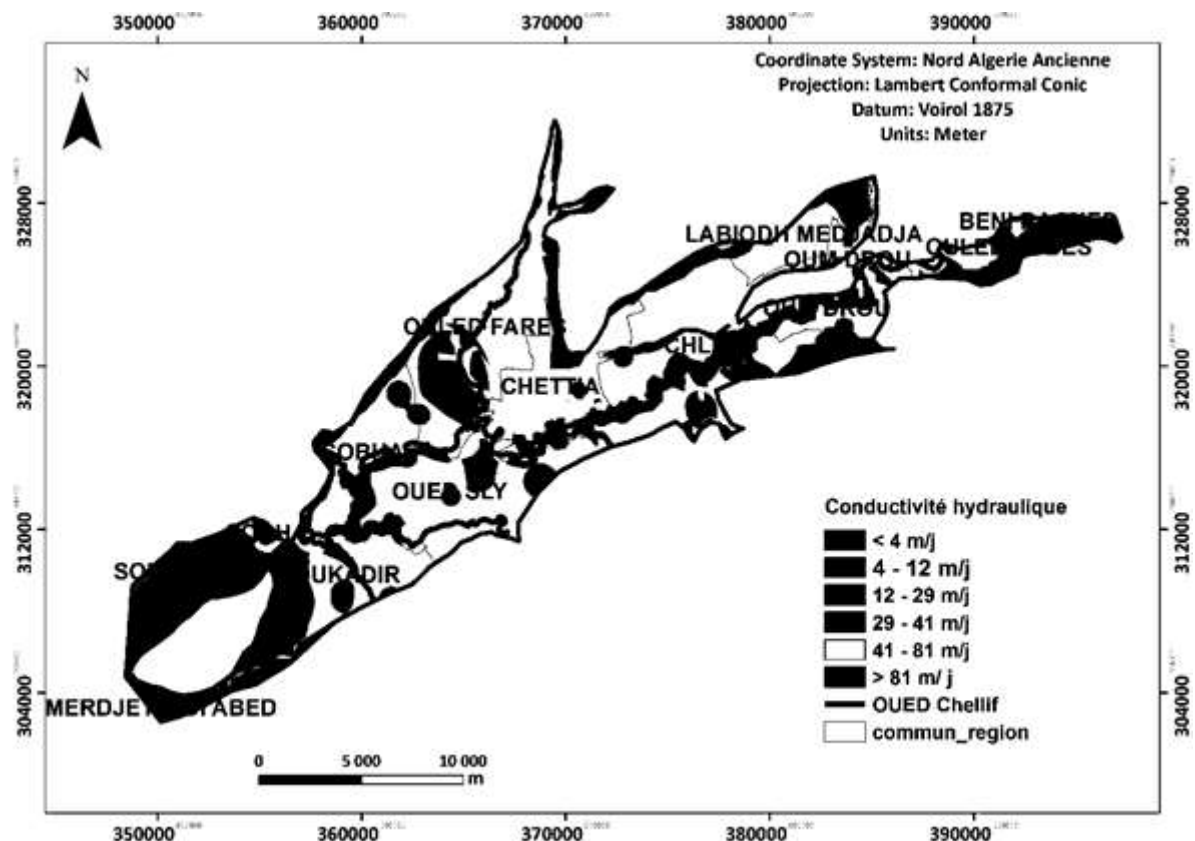


Figure 12. Carte du paramètre « C »

3. Réalisation de la carte de la vulnérabilité par la méthode DRASTIC

- Pour obtenir une carte de vulnérabilité de la plaine Moyen Cheliff nous devons superposer la somme des cartes de paramètres DRASTIC (sept cartes initiales). La somme obtenue est appelée l'indice DRASTIC général (ID).
- A l'aide de la base de données créée précédemment, on établit la carte de répartition de l'indice DRASTIC général.
- Elaboration de la carte de vulnérabilité à partir de la carte de répartition de l'indice DRASTIC général.

Après l'élaboration de la carte de vulnérabilité de la nappe alluviale du moyen Cheliff à l'aide de la répartition de l'indice DRASTIC général. L'observation des Critères d'évaluation des degrés de vulnérabilité dans la méthode DRASTIC montre qu'il y a 05 classes de vulnérabilité :

- Classe à très faible degré de vulnérabilité soit un indice DRASTIC général < 80 , occupe une petite superficie (2%) au Sud de Labiodh Medjadja de la nappe. Cette zone est caractérisée par une grande profondeur et un type de sol argileux non perméable.
- Classe à faible degré de vulnérabilité, l'indice DRASTIC général est compris entre 80 et 120, la classe de vulnérabilité faible est occupée dans les bordures de la nappe. à 19% de la superficie, cette classe est caractérisée par sa faible conductivité hydraulique.
- Classe de vulnérabilité moyenne où l'indice DRASTIC général varie de 121 – 160, cette classe occupe 67% de la superficie totale.
- Classe de vulnérabilité élevée avec un indice compris entre 161- 200 cette classe se situe dans la partie centrale de la nappe (comprend Partie Oued) ainsi on peut la retrouver dans la zone BOUKADIR à 11% de la superficie totale, caractérisée par une très faible profondeur et une conductivité hydraulique élevée.
- Classe de vulnérabilité très élevée avec un indice supérieure à 200 cette classe se situe dans le centre de région de CHLEF, et Oued Cheliff. Elle est caractérisée par une très faible profondeur et une conductivité hydraulique élevée et un type de sol sable et encore c'est la partie plus alimentée.

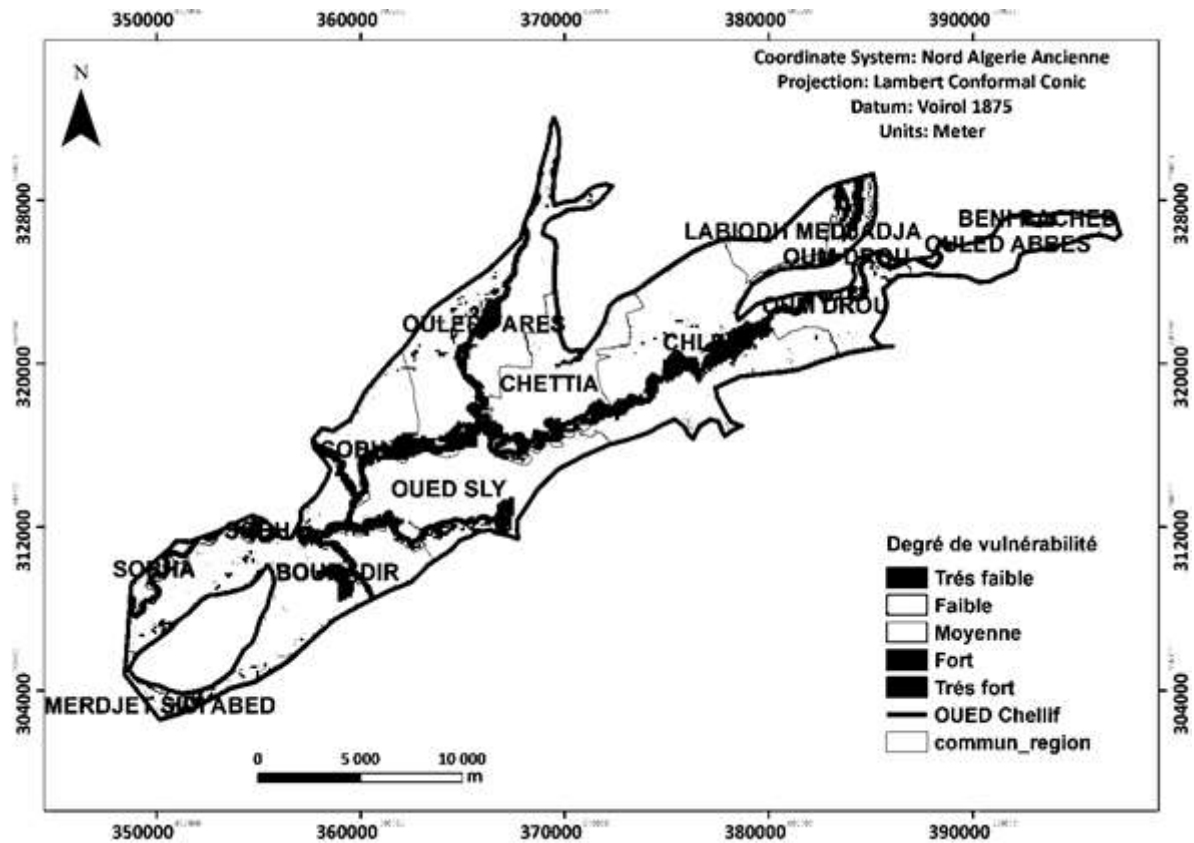


Figure 13. Carte de vulnérabilité à la pollution par la méthode DRASTIC

4. Application par la Méthode Pesticide DRASTIC de la nappe Moyen Cheliff :

Dans cette méthode on travaille comme avec une méthode DRASTIC, mais il y a une différence dans la cote des paramètres S et T, I et C, les résultats diffèrent dans ces paramètres.

Nous avons superposés la somme des cartes de paramètres Pesticide DRASTIC (sept cartes initiales). La somme obtenue est appelée l'indice pesticide DRASTIC général. Elle est classée le résultat selon critère d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode Pesticide DRASTIC, L'observation des Critères d'évaluation des degrés de vulnérabilité dans la méthode Pesticide DRASTIC montre qu'il y a 04 classes de vulnérabilité. On donne la carte finale de vulnérabilité (figure 8)

- Classe à faible degré de vulnérabilité, l'indice Pesticide DRASTIC général est compris entre 1 - 120, représente une petite superficie 4% de la nappe, cette classe est caractérisée par sa faible conductivité hydraulique et type de sol non perméable (Argile).
- Classe de vulnérabilité moyenne où l'indice Pesticide général varie de 121 – 160, cette classe occupe 64% de la superficie totale.
- Classe de vulnérabilité élevée avec un indice compris entre 161- 200 cette classe se situe dans les régions Chlef, Oum Drou, Boukadir, Ouled Fares, Oued Sly, Oued

Cheliff, Sobha, Labiodh Medjadja, Chettia à 27% de la superficie totale, caractérisée par une très faible profondeur et une conductivité hydraulique élevée.

- Classe de vulnérabilité très élevée avec un indice supérieure à 200 cette classe se situe dans le centre de région de Chlef, Boukadir, Oued Cheliff, Oued Sly, Chettia à superficie 7% caractérisée par une faible et moyenne profondeur et une conductivité hydraulique élevée et un type de sol sable et encore si la partie plus alimenté par l'eau.

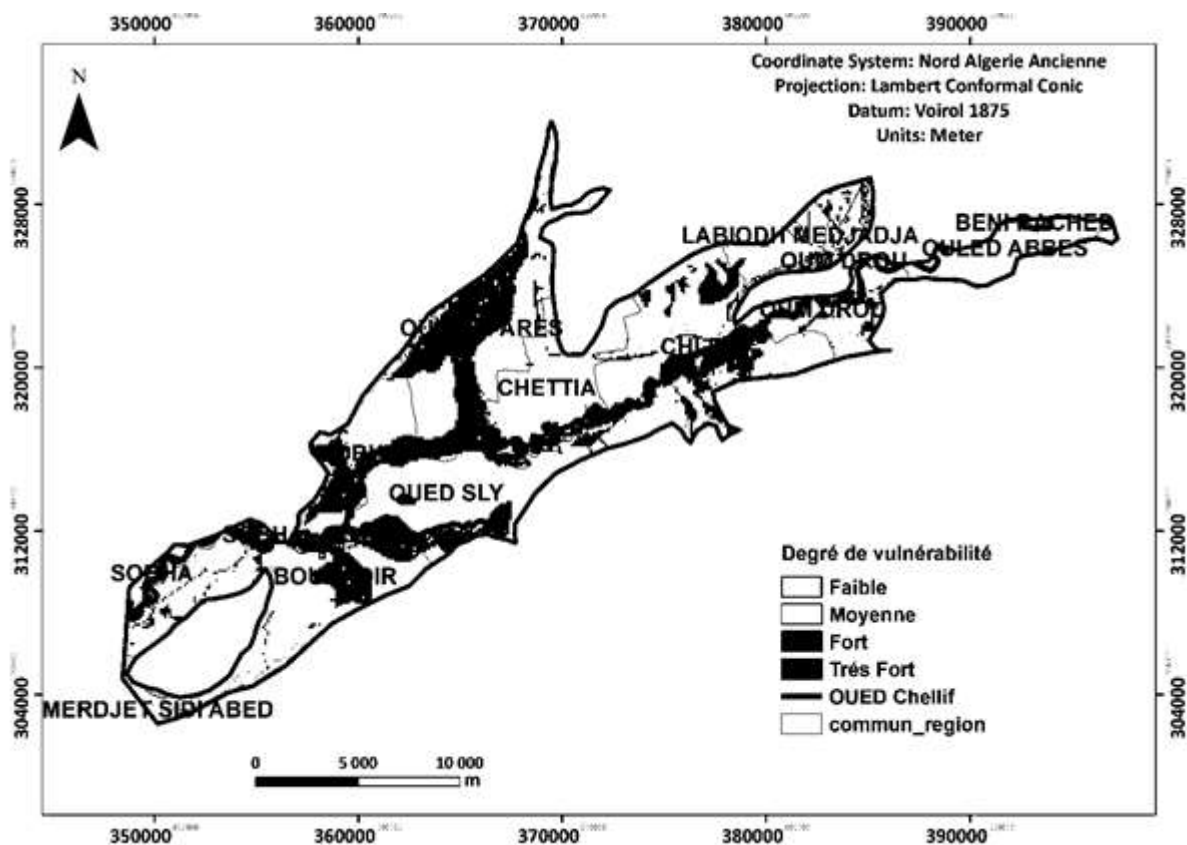


Figure 14. Carte de vulnérabilité à la pollution par méthode Pesticide DRASTIC

5. Application par la Méthode DRASTIC modifiée (DRIST) à la nappe du Moyen Cheliff

La méthode DRIST est basée sur cinq paramètres, profondeur de la nappe, la recharge, type de sol, topographie, impact de la zone non saturé, la méthode elle donnée le même résultat de méthode DRASTIC dans les paramètres D, R, I, S, T

Nous avons superposé la somme des cartes de paramètres DRIST (cinq cartes initiales). La somme obtenue est appelée l'indice DRIST général. On reclasse le résultat selon les critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode DRIST, La carte obtenue dans la méthode

DRIST montre qu'il y a 04 classes de vulnérabilité. On donne la carte finale de vulnérabilité (figure 9) :

- Classe à faible degré de vulnérabilité, l'indice DRIST est compris entre 83 - 100, représente 33% de la nappe, cette classe est caractérisée par sa moyenne profondeur.
- Classe de vulnérabilité moyenne où l'indice DRIST varie de 101 - 145, cette classe occupe 52.7% de la superficie totale.
- Classe de vulnérabilité élevée avec un indice compris entre 146 - 164 cette classe se situe des régions de Chlef, Oum Drou, Boukadir, Ouled Fares, Oued Sly, Oued Cheliff, Sobha, à 14.2% de la superficie totale, caractérisée par une très faible profondeur
- Classe de vulnérabilité très élevée avec un indice supérieure à 200 cette classe se situe dans le centre de région de Chlef, à superficie 0.1% caractérisée par une très faible profondeur.

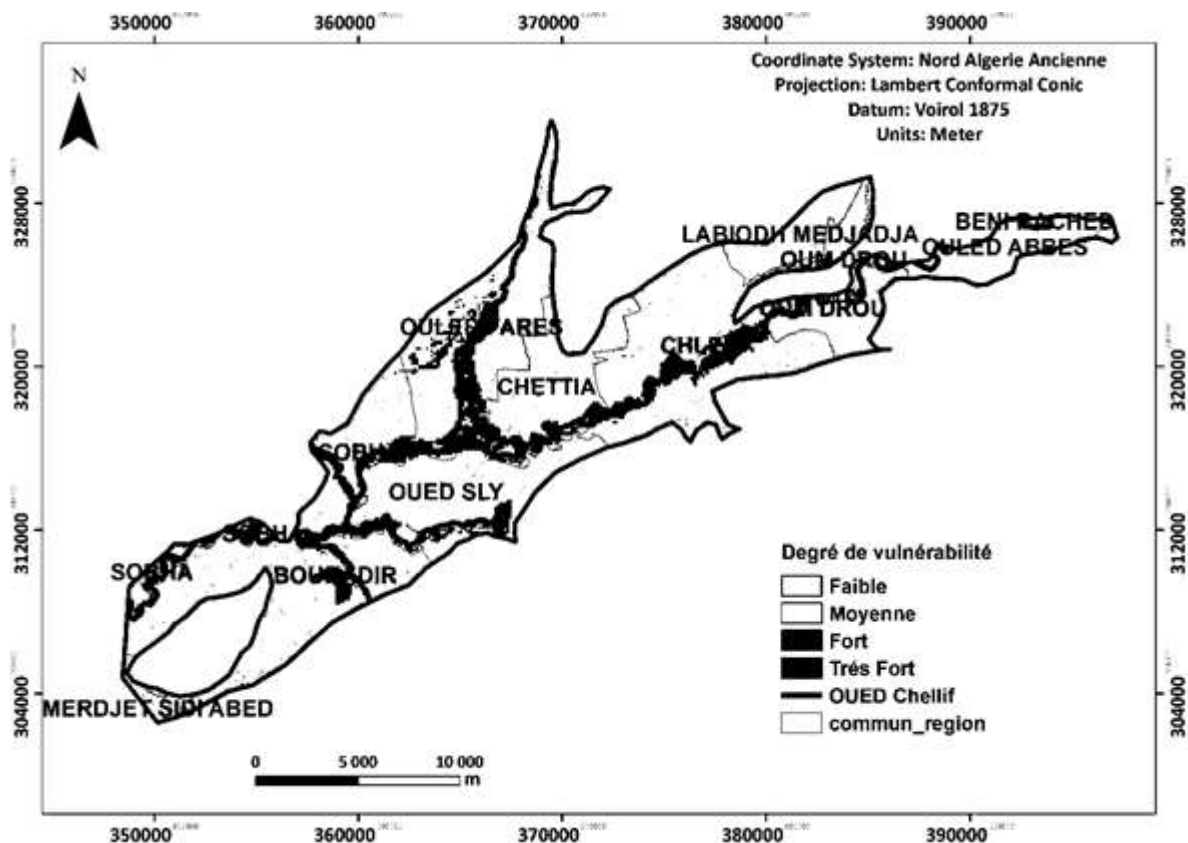


Figure 15. Carte de vulnérabilité à la pollution par la méthode DRIST

6. Application de la Méthode SI

Dans cette méthode SI basée sur quatre paramètres, profondeur de la nappe « D », la recharge « R », aquifère media « A », et occupation de sol « LU », chaque paramètre présente un poids différent pour $D=0.186$, $R=0.212$, $A=0.121$, $OS=0.222$.

Nous devons faire superposés la somme des cartes de paramètres SI (Quatre cartes initiales). La somme obtenu est appelée l'indice SI général (IS).est classée le résultat selon critère d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode SI, L'observation des Critères d'évaluation des degrés de vulnérabilité dans la méthode SI montre qu'il y a 03 classes de vulnérabilité. On donne la carte finale de vulnérabilité (figure 16) :

- Classe à faible degré de vulnérabilité, l'indice SI est inférieur à 45, représente 0.8% de la nappe, cette classe est caractérisée par sa moyenne profondeur.
- Classe de vulnérabilité moyenne où l'indice SI varie de 45 - 64, cette classe occupe 59.2% de la superficie totale.
- Classe de vulnérabilité élevée avec un indice compris entre 65 - 84 cette classe se situe des régions de Chlef, Oum Drou, Boukadir, Ouled Fares, Oued Sly, Oued Cheliff, Chettia, Sobha, Labiodh Medjadja, à 40% de la superficie totale, caractérisée par une moyenne profondeur.

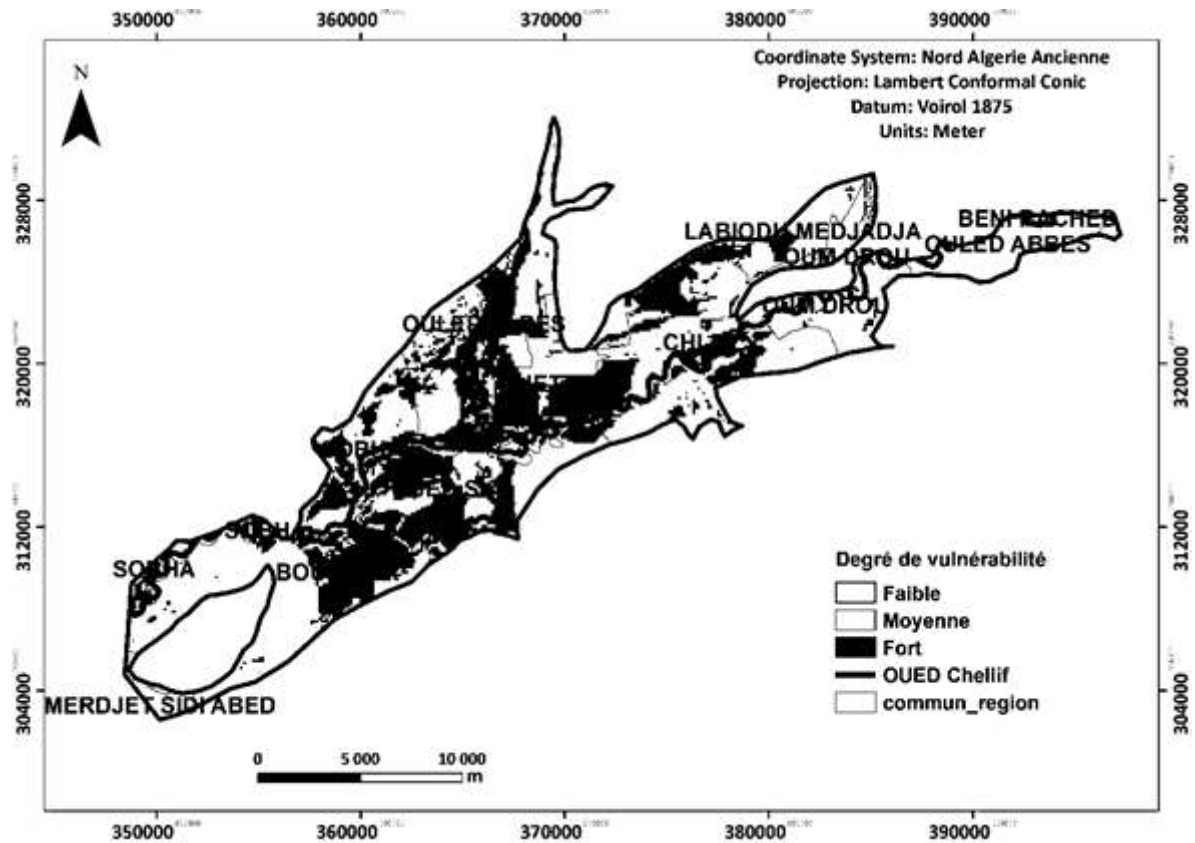


Figure 16. Carte de degré de vulnérabilité à la pollution méthode SI

On résume les résultats de degré de vulnérabilité à la pollution méthodes DRASTIC, Pesticide DRASTIC, DRIST, SI dans le tableau suivants (Tableau 17) :

Tableau 17. Récapitulatif des résultats

Degré de vulnérabilité	DRASTIC	Pesticide DRASTIC	DRIST	SI
Très faible	2 %			
Faible	19 %	4 %	33 %	0.8 %
Moyenne	67 %	64 %	52.7 %	59.2 %
Elevée	11 %	27 %	14.2 %	40 %
Très élevée	2 %	5 %	0.1 %	

7. Validation des cartes par les Nitrates (NO₃) :

Les cartes de vulnérabilité élaborées par chaque méthode sont ensuite comparées aux résultats des analyses hydrochimiques des polluants. Dans cette étude, nous ne nous intéressons qu'à pourcentage de nitrates et leur répartition dans l'aquifère. Les analyses et comparaison par rapport à la carte des nitrates dans l'eau avec la distribution des classes de vulnérabilité obtenues par les quatre méthodes. Nous avons classé les 27 échantillons situés dans la plaine du Moyen Cheliff en 04 classes de degré de contamination (<25mg/L faible, de 25 à 50mg/L moyenne, de 50 à 75mg/L élevée et > 75mg/L très élevée) Les taux de nitrates contenus dans les eaux souterraines de la zone du Moyen Cheliff (27 échantillons). D'après les résultats, il ressort donc que la méthode DRIST donne le meilleur pourcentage de concordance avec 33% des concentrations en NO₃ concordantes avec les degrés de vulnérabilité indiquées par cette méthode. Les méthodes Pesticide DRASTIC et SI donnent le même pourcentage de 22% et DRASTIC donne le pourcentage le plus faible avec 15%.

Tableau 18. Validation des cartes par les nitrates

	DRASTIC	Pesticide DRASTIC	DRIST	SI
% concordance	15%	22%	33%	22%

Conclusion Générale

L'application des méthodes DRASTIC, Pesticide DRASTIC, DRIST, SI aux aquifères de la nappe alluviale du moyen Cheliff, a permis l'établissement de la carte de vulnérabilité à la pollution, qui met en évidence cinq zones de vulnérabilité différentes : très faible vulnérabilité, faible vulnérabilité, vulnérabilité moyenne et vulnérabilité élevée, très élevée vulnérabilité. ce qui laisse à penser que les trois cartes de vulnérabilité avec les méthodes DRASTIC, Pesticide DRASTIC, DRIST, SI sont relativement proches par contre la carte de vulnérabilité réalisée à partir de la méthode DRIST reflète le mieux la réalité de la pollution des eaux souterraines à 33% des concentrations en NO₃ de la nappe alluviale du Moyen Cheliff.

Donc la méthode DRIST est la plus appropriée pour l'estimation de la vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale du Moyen Cheliff.

La cartographie de la vulnérabilité de la plaine à partir de la méthode SI, montre que les zones de vulnérabilité faible occupent une superficie 33% de la nappe alluviale du Moyen Cheliff. Les zones de vulnérabilité moyenne couvrent 52.7% % de la surface totale et se localisent dans les parties extrême et moyenne de nord-est de la moyenne terrasse, Par contre les zones à forte vulnérabilité sont plus importantes et couvrent 14.2% % de la surface totale et se située à les régions suivants : Chlef, Boukadir, Sobha, Oued Sly, Chettia, Ouled Fares, LABIODH Medjadja, et Très fort vulnérabilité 0.1% située à la région Chlef.

Les cartes de vulnérabilités pourront servir à l'élaboration d'une politique visant à prévenir la pollution des formations aquifères. Les zones vulnérables pourront faire l'objet de règlement spécifique permettant d'orienter les choix finaux relatifs à l'aménagement du territoire et à l'occupation du sol.

Elles peuvent être également utilisées pour rétablir les priorités d'action en ce qui concerne la surveillance de la qualité des eaux souterraines ou la restauration des sites déjà territoire, dont l'objectif est la protection des ressources en eau et la prévention de leur contamination.

Références Bibliographiques

ABH-CZ, (2000). Méthodes d'évaluation de la vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines. Volume 1,2 et 3. 42p

Albinet M et Margat J (1975). Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraine -*Groundwater Pollution - Symposium - Pollution des Eaux Souterraines*. Actes du Colloque de Moscou.

Aller et al (1987). DRASTIC: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using "hydrogeologic settings".

United States Environmental Protection Agency. Oklahoma. USEPA Report No.

EPA/600/2-87/035

Andrzej J. et al (2007). GROUNDWATER VULNERABILITY ASSESSMENT AND MAPPING; Selected papers from the Groundwater Vulnerability Assessment and Mapping International Conference, Ustron, Poland, 2004. Taylor & Francis Group, London, UK 2007.

Boudjaltia M (2000). Evaluation et la cartographie de la vulnérabilité des nappes souterraines à la pollution par la méthode DRASTIC - Cas de la nappe du moyen Cheliff-

BRGM (2005). Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines en région Nord-Pas-de-Calais (BRGM/RP – 54238 - France)

COOLLET. C (1994). Système d'information géographique en mode image, TEC et DOC.

Ezziane R et Chahma A (2002). L'utilisation du SIG dans l'évaluation et la cartographie de la vulnérabilité des nappes souterraines à la pollution par la méthode DRASTIC- cas de la nappe du moyen chellif occidental-, mémoire d'ingénieur d'état UHBB.

FICHER. M, 1993, conception de base de données dans les SIG, DUNOD, 321p.

Hamza M.H et al., 2004. Evaluation de la vulnérabilité à la pollution potentielle par les pesticides, de la nappe côtière alluvionnaire de la plaine de Metline-Ras Jebel-Raf Raf, Nord-est tunisien, selon la méthode DRASTIC appliquée par les systèmes d'information géographique. L'ASSAINISSEMENT EN ALGERIE : Historique et évaluation. LA HOUILLE BLANCHE/N° 5-2004. P 86-94.

Hamza M.H et al (2007). Evaluation de la vulnérabilité à la pollution potentielle par les pesticides, de la nappe côtière alluvionnaire de la plaine de Metline-Ras Jebel-Raf Raf, Nord-Est tunisien, selon la méthode DRASTIC appliquée par les systèmes d'information géographique.

Hennia K, 2006, contribution à la gestion qualitative des eaux souterraine dans les zones semi-arides, application au moyen chélif occidental, thèse de magistère (UHBCH).

Kachi S, et al (2007). Vulnerability and Pollution Risks in the Alluvial Aquifer of Tebessa-Morsott. American Journal of Environmental Sciences. 2007 Science Publications

Mato, Rubhera R.A.M (2002). Groundwater Pollution in Urban Dar es Salam, Tanzania Assessing Vulnerability and Protection Priorities Eindhoven: Technische Universities Eindhoven, P195

NAP (1993). Ground Water Vulnerability Assessment: Contamination Potential Under Conditions of Uncertainty; National Academies Press

PORNON. H, 1996, les SIG mise en œuvre et application, HERMES, 159p.

SCCIG (sydney coastal council group) 2006. Groundwater management handbook; *A guide for local government* – First Edition; Sydney, 155p.

SCET-AGRI (1), 1985, hydrologie, hydrogéologie et bilan des ressources, étude de réaménagement et de l'extension du périmètre du moyen chélif, ministère de l'hydraulique.

SCET-AGRI (3), 1985, rapport de synthèse, étude du réaménagement et de l'extension du périmètre de moyen Chélif, ministère de l'hydrologie.

Sinan M et Maslouhi R (2003). Maroc et Moumtaz RAZACK

Utilisation des SIG pour la caractérisation de la vulnérabilité et de la sensibilité à la pollution des nappes d'eau souterraine. Application à la nappe du Haouz de Marrakech, Maroc. Management of Water Resources 2nd FIG Regional Conference Marrakech, Morocco.