



الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

Université Djillali BOUNAAMA de Khemis Miliana

Faculté des Science de la Nature et de la Vie et des Sciences de la Terre

Département des Sciences de la Terre

Mémoire de fin d'étude

En vue de l'obtention du Diplôme de Master II

En

Sciences de la terre et de l'univers

Filière : **Sciences de la Terre**

Option : **Hydrogéologie**

Thème

**Cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale du Bas
Cheliff**

Application de la méthode DRASTIC

Présenté par :

M^r: MIGUEL Edilasio Augusto Capapelo

M^r: PAIM Paulo Jorge da Costa

Soutenue devant le jury composé de :

M^r. Gharbi. B	Président	Université Djillali BOUNAAMA de Khemis Miliana
M^r. Hennia Kadour	Promoteur	Université Djillali BOUNAAMA de Khemis Miliana
M^r. Said Ramadane	Examineur	Université Djillali BOUNAAMA de Khemis Miliana

Année Universitaire: 2014-2015

Dédicace

On dédie ce travail à :

Nos parents, pour tous ce qu'ils ont faits pour notre réussite dans la vie. Sans votre soutien le jour d'aujourd'hui n'aurait jamais existé.

Tous les enseignants qui nos ont aidé pendant notre cycle de formations

Tous nos amies qui nos ont soutenu quand on avait besoin.

Remerciements

Louange à "DIEU" "DEUS" "ALLAH" "GOD" le tout puissant et le maître de l'univers, par sa grâce, sa bonté divine et sa miséricorde nous a permis d'avoir la force, le courage, la patience, de réaliser ce travail. Nos remerciements vont à :

Monsieur Hennia qui nous a guidé et soutenu tout au long de la réalisation de notre mémoire, en nous prodiguant de fructueux conseils et nous faisant bénéficier de son savoir et de son expérience.

Monsieur Gharbi B. pour avoir accepté de nous honorer en tant que président de jury.

Monsieur Said Ramdane pour avoir accepté de faire partie du jury.

La famille de Mr. Miguel Edilásio, en particulier à : Gaspar Miguel(Père), Arminda Capapelo(Mère), Any, Luisa, Hady, Nelson, Banana, Raquel, à mes chères amis : Ibony, Sandro, Nelinho, Xpression Kerem, Moises, Adilson, Yannick, Ahmed, Tembo, Géozamigos, PPC.

La famille de Mr Paim Paulo, en particulier à : Domingos Prado Paim(Père), Bernarda Julieta Domingos da Costa(Mère), Felicia Chipema, Tommy, Sandra Paim, Luzia Paim, Muniz Junior, António Paim, Domingos Paim, à mes chères amis: Benjamin, Jorge, Fililson, Dne Vula, Rock'a Feller, Esmael Vicente et à tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réussite de ce travail.

Un autre grand merci va à l'université de Djilali Bounaama, en particulier à tous les enseignants du département de Sciences de la Terre. Merci au Président de l'Angola, Ingénieur José Eduardo Dos Santos, merci au responsable des étudiants Angolais en Algérie Mr. Kiafuca Diedone.

Résumé

La plaine du bas Cheliff est la partie inférieure du plus grand bassin hydrographique d'Algérie qui couvre environ 56227 km² soit plus de 22 % de la superficie du nord du pays, Appelé Cheliff-Zahrez.

La détermination de la vulnérabilité dans les régions affectées par la pollution de nature anthropique est un élément très important pour la gestion des ressources en eau. En effet, les cartes de vulnérabilité des aquifère sont des outils standards pour contribuer à la protection des ressources hydriques souterraines contre une éventuelle pollution. Elles sont précieuses pour toute décision future. Sur notre étude on a déterminé la vulnérabilité de la nappe alluviale du bas Cheliff en appliquant la méthode DRASTIC et DRASTIC modifié couplée à un système d'information géographique(SIG), étant notre région avec une agriculture largement développé, on a obtenus de cartes de vulnérabilités qui montrent que presque toute la totalité de la zone présente une classe de vulnérabilité moyenne et un indice entre [105 – 145] et que des mesures doivent être prises pour toute activité concernée sur la plaine.

Mots clés : vulnérabilité, DRASTIC, bas Cheliff, SIG

Summary

The plain of low Cheliff is the lower part of the largest hydrographic basin of Algeria which covers about 56,227 square kilometers or more than 22% of the area of the north, called Cheliff-Zahrez.

The determination of vulnerability in areas affected by anthropogenic pollution is a very important element for water resources management. Indeed, aquifer vulnerability maps are standard tools to contribute to the protection of groundwater resources against any pollution. They are invaluable to any future decisions. On our study the vulnerability was determined from the alluvial aquifer bottom Cheliff applying the modified DRASTIC DRASTIC method and coupled with a geographic information system (GIS), being our region with a widely developed agriculture was obtained card vulnerabilities which show that most of the entire region has a medium vulnerability class and an index between [105-145] and that measures must be taken to any relevant activity on the plain.

Keywords: vulnerability, DRASTIC, low Cheliff, pollution, GIS

ملخص

هو الجزء السفلي من أكبر حوض الهيدروغرافي الجزائر التي تغطي حوالي 56227 Cheliff سهل منخفض Cheliff-Zahrez. كيلو متر مربع أو أكثر من 22٪ من مساحة الشمال، ودعا

في تحديد الضعف في المناطق المتضررة من التلوث البشرية هو عنصر هام جدا لإدارة الموارد المائية الواقع، خرائط ضعف طبقة المياه الجوفية هي الأدوات القياسية للمساهمة في حماية موارد المياه الجوفية من أي في دراستنا تم تحديد الضعف من أسفل طبقة المياه الجوفية. فهي لا تقدر بثمن لأي قرارات في المستقبل. تلوث ، (GIS) تطبيق طريقة جذرية المعدلة وإلى جانب وجود نظام المعلومات الجغرافية Cheliff الغريني ويجري تم الحصول منطقتنا مع الزراعة وضعت على نطاق واسع بطاقة يجب أن تؤخذ نقاط الضعف التي تظهر أن معظم المنطقة بأسرها إلى فئة الضعف المتوسطة وفهرس بين [145-105] وأن التدابير الرامية إلى أي نشاط ذي صلة على سهل

ملخص

سهل الشلف الأندلسي الجزء السفلي من أكبر حوض الهيدروغرافي والذي يدعي حوض شلف زهرز، التي تغطي مساحته حوالي 56227 كلم²، أكثر من 22٪ من مساحة الشمال. في الواقع إن تحديد قابلية مناطق المياه الجوفية لتلوث هو عنصر هام جدا لإدارة الموارد المائية، خرائط قابلية التلوث المياه الجوفية هي الأدوات القياسية التي تساهم في حماية هذه الموارد من أي تلوث. فهي لا تقدر بثمن من أجل اتخاذ أي قرارات في المستقبل. في دراستنا تطرقنا إلى تحديد خريطة قابلية التلوث للمكن المائي الغريني سهل الشلف الأدنى بتطبيق طريقة DRASTIC، مع نظام المعلومات الجغرافية (GIS)، مع الذكر أن منطقتنا على نطاق واسع، منطقة فلاحية، تحصلنا على خريطة قابلية التلوث في معظم السهل ذات درجة متوسطة (101 الي 145)، الأمر الذي يتوجب أخذ إجراءات صارمة للحد من هذا التلوث

Dédicaces

Remerciements

Résumé

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Introduction Générale.....1

Chapitre I : Milieux physique

I.1. Situation géographique.....3

I.1.2. Cadre climatique.....4

I.1.2.1. Le climat.....4

I.1.2.2. Précipitation.....4

I.1.2.3. Température.....6

I.2.4. Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite.....7

Principe de calcul du bilan hydrologique selon la méthode
Thornthwaite.....8

I.3. Cadre Géomorphologique.....9

I.3.1. Les Sous Bassins.....9

I.3.2. Morphologie.....10

I.3.3. Réseau hydrographique.....14

I.4. Géologie, Hydrogéologie, et pédologie.....15

I.4.1. Géologie.....15

Les formations anténéogènes

Les formations néogènes et quaternaires

I.4.2. Hydrogéologique.....	20
I.4.3. Pédologie.....	20
I.5. Cadre Socio-économique.....	22
I.5.1. Agriculture et Industrie.....	22
Conclusion.....	23
Chapitre II : Matériels et Méthodes	
Aperçu Bibliographique	
II.1. Concept de vulnérabilité des eaux souterraine à la pollution.....	24
II.1.2. Notion de vulnérabilité à la pollution.....	24
II.1.3. Types de vulnérabilité.....	24
La vulnérabilité intrinsèque	
La vulnérabilité spécifique	
II.1.4. Les critères de vulnérabilité.....	25
II.1.4.1. Critères de vulnérabilité intrinsèque.....	25
II.1.4.2. Critère de vulnérabilité spécifique.....	25
II.2. Cartographie de vulnérabilité à la pollution.....	25
II.2.1. Méthodes pour l'estimation de la vulnérabilité.....	26
II.2.2. Aspect théorique de la méthode DRASTIC.....	27
II.2.2.1. Hypothèse de la méthode.....	27
II.2.3. Description des paramètres DRASTIC.....	28
II.2.4. Détermination de l'indice DRASTIC.....	29
II.2.5. Cartographie de la vulnérabilité.....	31
Conclusion.....	31

Chapitre III : Résultats et discussions

Introduction.....	32
III.1. Evaluation des paramètres et calcul des cotes de vulnérabilité.....	32
III.1.1.Données de base.....	32
III.1.2.Méthodologie.....	33
III.2. Elaboration des cartes des paramètres spécifiques de la vulnérabilité de la nappe.....	34
III.2.1.Paramètre de profondeur des eaux souterraines(D).....	34
III.2.2.Paramètres de la recharge nette de l'aquifère(R).....	37
III.2.3.Paramètres des matériaux de l'aquifère(A).....	39
III.2.4.Paramètres des types de sol (S).....	41
III.2.5.Paramètres Topographique (T).....	44
III.2.6.Paramètres de la zone non saturé (impact de la zone vadose) (I).....	46
III.2.7.Paramètre de Conductivité hydraulique (perméabilité de l'aquifère) (C).....	48
III.3. Cartographie de la Vulnérabilité de la nappe alluviale du bas Cheliff.....	50
Conclusion.....	53
Conclusion générale.....	54
Référence bibliographique	
Liste des annexes	

Tableau I -1 : Moyennes mensuelles des précipitations (mm) et des températures (°C) de la station de H'madna (1985-2014). (Source : INRAA, 2014).....	5
Tableau I - 2 : Bilan hydrologique.....	7
Tableau I – 3 : Division des sous-bassins.....	9
Tableau II – 01 : Les différentes méthodes pour l'estimation de la vulnérabilité.....	27
Tableau II- 02 : Les valeurs des poids des paramètres de la méthode DRASTIC et DRASTIC Modifié.....	30
Tableau II – 03 : Degré de vulnérabilité.....	31
Tableau III-1 : Données utilisées pour le calcul de la vulnérabilité.....	32
Tableau III - 2: Classification spécifiques (Cotes, et poids) à la région d'étude pour le paramètre « D » selon la méthode DRASTIC et DRASTIC modifié.....	35
Tableau III – 3 : Classification spécifiques (Cotes, et poids) à la région d'étude pour le paramètre « R » selon la méthode DRASTIC et DRASTIC modifié.....	37
Tableau III – 4 : Classification spécifiques (Cotes, et poids) à la région d'étude pour le paramètre « A » selon la méthode DRASTIC e DRASTIC modifié.....	39
Tableau III – 5 : Classification spécifiques (Cotes, et poids) à la région d'étude pour le paramètre « S » selon la méthode DRASTIC et DRASTIC modifié.....	42
Tableau III – 6 : Classification spécifiques (Cotes, et poids) à la région d'étude pour le paramètre « T » selon la méthode DRASTIC et DRASTIC modifié.....	44
Tableau III – 7: Classification spécifiques (Cotes, et poids) à la région d'étude pour le paramètre « I » selon la méthode DRASTIC et DRASTIC modifié.....	46
Tableau III- 8 : Classification spécifiques (Cotes, et poids) à la région d'étude pour le paramètre «C » selon la méthode DRASTIC et DRASTIC modifié.....	48
Tableau III – 9 : Classification des plages de vulnérabilité de la plaine du bas Cheliff.....	50
Tableau III – 10 : Echelle de vulnérabilité hydrogéologique.....	52

Figure I – 01 : Localisation géographique de la région d'étude (Encarta, 2007).....	3
Figure I - 02: La plaine du Bas-Chélif (Source: Douaoui, 2005).Les principaux périmètres irrigués de la plaine du Bas-Cheliff.....	4
Figure I - 03: Extraie de la carte pluviométrique du Nord Algérie des précipitations interannuelles (1968-2011 Source ANRH).....	6
Figure I - 04: Diagramme ombrothermique de Gaussen.....	7
Figure I – 05 : Division des sous bassins.....	10
Figure I - 06: Morphologie de la région.....	11
Figure I - 07: Grands traits géomorphologique de la plaine du bas cheliff	14
Figure I – 08 : Le réseau hydrographique.....	15
Figure I - 09: Extrait de la carte 1/50000 de l'Algérie.....	17
Figure I - 10: Log stratigraphique synthétique de la région d'étude. (F.ACHOUR, 1997).....	19
Figure I - 11: Carte pédologique de la région d'après BOULAIN source ANRH...21	
Figure I - 12: Carte de l'occupation du sol.....	23
Figure III - 01: Les points de échantionnage	34
Figure III - 02: Répartition spatiale de profondeur d'eau de la région.....	36
Figure III- 03: Répartition spatiale de profondeur de l'eau assignée à leur cote et poids.....	36
Figure III - 04 : Répartition spatiale de la recharge de la région.....	38
Figure III - 05 : Répartition spatiale de la recharge de la région assignée à leur cote et poids.....	38
Figure III - 06 : Répartition spatiale de matériaux d'aquifère de la région.....	40

Figure III - 07 : Répartition spatiale de matériaux d'aquifère de la région.....	40
Figure III - 08 : Répartition spatiale du type de sol de la région.....	43
Figure III - 09 : Répartition spatiale du type de sol de la région assignée à leur cote et poids.....	43
Figure III - 10 : Répartition spatiale de pente de la région.....	45
Figure III - 11 : Répartition spatiale de pente de la région assignée à leur cote et poids.....	45
Figure III - 12 : Répartition spatiale de la zone non saturé de la région.....	47
Figure III - 13 : Répartition spatiale de la zone non saturé de la région assignée à leur cote et poids.....	47
Figure III - 14 : Répartition spatiale de la conductivité hydraulique de la région.....	49
Figure III - 15 : Répartition spatiale de la conductivité hydraulique de la région.....	49
Figure III - 16 : Carte de la vulnérabilité de la nappe alluviale du bas Cheliff.....	50
Figure III - 17 : Carte de la vulnérabilité de la nappe alluviale du bas Cheliff.....	51

Introduction Générale

Les eaux souterraines constituent une provision d'eau potable inestimable pour l'humanité. Dans plusieurs pays, c'est pratiquement la seule source d'approvisionnement. La plupart des pays, sont habitués à compter sur les eaux de ruissellement (lacs, rivières, fleuve) pour leurs approvisionnements en eau potable, mais de plus en plus, individus et municipalités se tournent vers cette richesse que constituent les nappes. Celles-ci contiennent un volume énorme d'eau exploitable. En milieu urbain ou industriel, les nappes peuvent devenir rapidement fragiles à la surexploitation ou à la contamination. Certains chercheurs ont développé des outils pour une protection et préservation.

La présente étude nous permet de donner une idée sur l'état actuel de la nappe de Bas Chéiff, concernant la sensibilité à la contamination extérieure par les polluants en utilisant la méthode DRASTIC et DRASTIC modifiée.

L'étude de la vulnérabilité à la pollution des nappes permet une meilleure gestion des eaux souterraines et des interventions convenables dans le cas de contamination. Elle permet aussi de préciser les zones sollicitées à être contaminées suite à des activités anthropiques. Une fois identifiées, ces régions peuvent être visées avec prudence par les planificateurs et les utilisateurs de la terre. Les cartes de vulnérabilité des aquifères sont des outils standard pour protéger les eaux souterraines contre toute éventuelle source de pollution. Elles sont précieuses pour toute décision future.

La région d'étude correspondant à la plaine alluviale du bas Chéiff, occupe la partie Nord-Ouest du grand bassin hydrographique « Chéiff-Zahrez », qui s'étale sur une aire de 56000 Km²

Objectif de l'étude

Réalisation des cartes de vulnérabilité des eaux souterraines à la pollution de la nappe Alluviale du Bas Chéiff, que soient interprétatives et permettant d'estimer la vulnérabilité de la nappe à la contamination par des polluants d'extérieur. Elles constituent un appui pour la gestion des eaux souterraines et la définition des mesures de protection des réserves en eau.

Méthodologie

On propose deux phases articulées de façon suivante :

- Une phase de collecte et analyse des données incluant notamment le choix de la méthode d'évaluation de la vulnérabilité.
- Une phase de réalisation des cartes de vulnérabilité selon des orientations définies pour la cartographie de vulnérabilité de la nappe.

Pour la détermination de la vulnérabilité de la nappe du Bas Chéiff on a structuré notre étude en trois chapitres :

Le premier que fut consacré à l'identification de la zone d'étude, où la localisation géographique, la géologie, hydro-climatologie et géomorphologie ont été abordé.

Le deuxième dont il s'agit d'une étude bibliographique sur la vulnérabilité, la méthode DRASTIC, ainsi que leurs paramètres et l'indice de vulnérabilité.

Le troisième dont la présentation des résultats et discussions, ainsi que l'application de la méthode DRASTIC.

En dernier une conclusion générale et des recommandations.

I.1. Situation géographique

S'étalant sur une superficie d'environ 40000 ha, la plaine du Bas-Chélif est la partie inférieure du plus grand bassin hydrographique d'Algérie qui couvre environ 56227 km² soit plus de 22 % de la superficie du Nord du pays. Appelé Chélif-Zahrez, ce bassin compte en plus de cette plaine, le haut et le moyen Chélif. Il est traversé par le plus long Oued d'Algérie -Chélif- d'une longueur de 750 km (ABH-CZ, 2002).

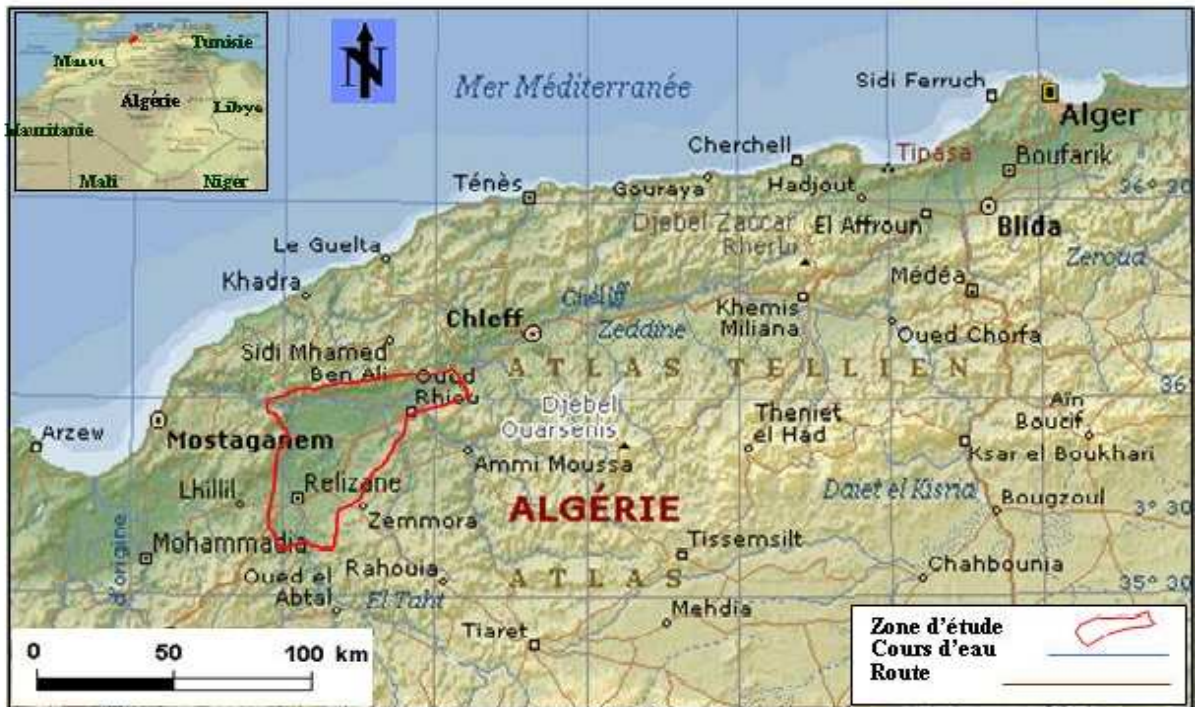


Figure I – 01 : Localisation géographique de la région d'étude (Encarta, 2007)

Situé au Nord-Ouest de l'Algérie à 250 km d'Alger et à vol de oiseau de la méditerranée 35 km- entre 0° 40' et 1 ° 6' 8'' de longitude Est de 34 ° 3' 12'' et 36° 5' 57'' de latitude Nord. Limité par la plaine du Moyen-Chélif à l'Est, Macta à l'Ouest, le massif du Dahra au Nord et le massif de l'Ouarsenis au Sud, traversée par la route nationale 4 et les chemins de fer de l'Ouest et récemment par l'autoroute Est-ouest sur une portion d'environ 80 km. Elle fait environ 50 km de longueur sur une largeur variant de 6 à l'Est à plus de 20 km à l'Ouest, avec une surface pratiquement plate, d'une altitude moyenne de 70 m. On y trouve aussi les deux zones très connues, en l'occurrence, la zone de Benziane où se trouve le plateau et la sebkha de Benziane et la zone de Gaa qui forme une dépression très salée où les sols sont généralement cumulés.

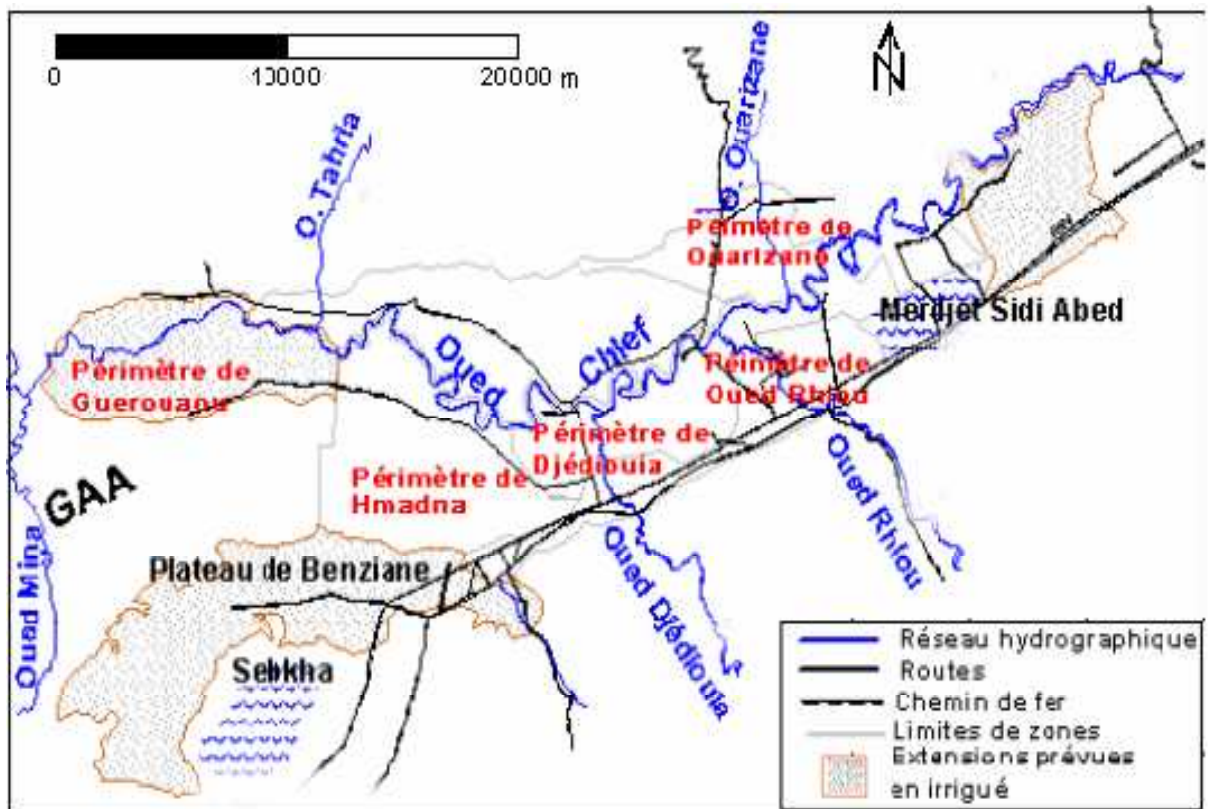


Figure II - 02: La plaine du Bas-Chélif (Source : Douaoui, 2005).

Les principaux périmètres irrigués de la plaine du Bas-Chélif

I.2. Cadre Climatique

I.2.1. Le climat

Le climat de la plaine a fait l'objet de diverses études approfondies allant du pionnier du domaine dans la région : Seltzer en 1946 dans son ouvrage 'Le climat de l'Algérie' à Yacono en 1954 dans son étude 'La colonisation des plaines du Chélif' jusqu'à nos jours. C'est un climat spécial, célèbre en Algérie par sa dureté et qui a été cité comme une curiosité météorologique (Seltzer, 1946). On parle du 'four du Tell' ou de 'portion de Sahara égarée dans le Tell' (Yacono, 1954). Il s'agit bien d'un climat très rude et très contrasté par des étés très chauds et des températures basses en hiver.

I.2.2. Précipitations

Décrites dans la bibliographie comme éléments primordiales, les précipitations de la plaine sont d'une part à la base du maintien et de l'avènement du couvert végétal d'autre part, elle joue un rôle important dans la dégradation des sols par l'érosion hydrique lors des averses torrentielles comme là bien préciser Boulaine en 1957 : « Certaines années comme ce fut le cas en 1927-1928 ce fut la zone oranaise de la vallée du Chélif qui reçut les précipitations les plus abondantes.

Celles-ci se traduisent par des crues catastrophiques. La répartition des pluies suivant les mois de l'année est évidemment marquée par une sécheresse aiguë des mois d'été, juin et surtout juillet et août» ; en plus par la remontée des sels en cas d'insuffisance pluviométrique.

L'analyse pluviométrique sur la région (**tableau II-1** ci-dessous) à données :

Le mois de Janvier est le mois le plus pluvieux avec 60,50 mm

Le mois de Juillet enregistre la plus faible pluviosité dans l'année avec 1,05 mm

D'apert l'extrait de la carte pluviométrique interannuelle (1968-2011) fournit par ANRH, En général, on constate que les précipitations varient entre 400 mm à 600 mm sur parties montagneuses (Sud, Est et Nord du notre zone d'étude), et une précipitation qui varie entre 200 mm à 400 mm dans la plaine (centre de notre bassin d'étude)

Mois	Précipitations mensuelle (mm)	Température (°C)
Janvier	60,50	10,46
Février	56,13	10,5
Mars	49,50	11,8
Avril	33,13	13,8
Mai	21,13	21,55
Juin	5,38	31,00
Juillet	1,05	34,00
Août	3,05	36,00
Septembre	16,88	24,00
Octobre	36,25	20,00
Novembre	32,50	13,75
Décembre	56,38	10,82

Tableau I-1 : Moyennes mensuelles des précipitations (mm) et des températures (°C) de la station de H'madna (1985-2014). (Source : INRAA, 2014)

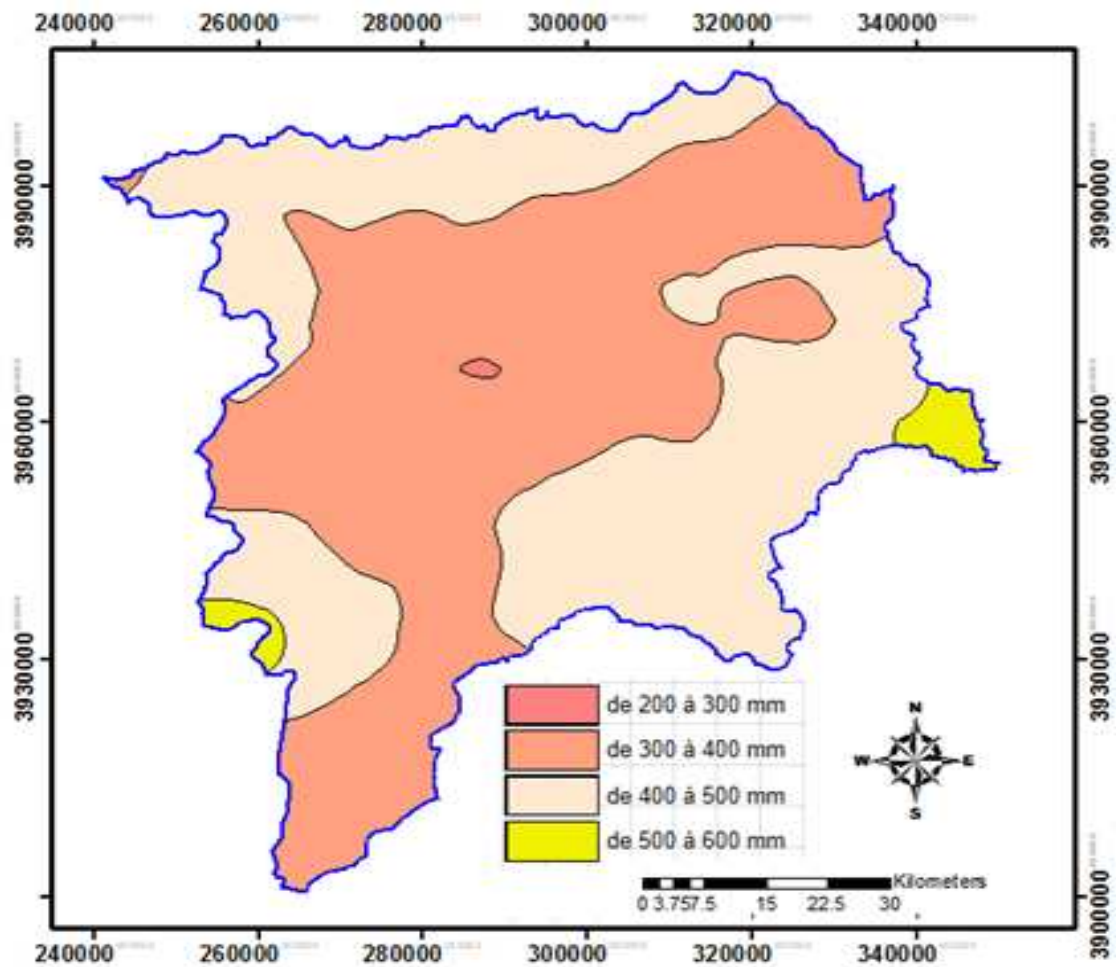


Figure I - 03: Extraie de la carte pluviométrique du Nord Algérie des précipitations interannuelles (1968-2011 Source ANRH)

I.2.3. Températures

Le régime thermique de la région est caractérisé par des températures élevées en été et relativement basses en hiver. La moyenne annuelle des températures avoisine les 21°C mais avec un écart aussi considérable d'environ également 20°C ; Août est le mois le plus chaud avec une température de 36 °C, Janvier est le mois le plus froid qui enregistre une valeur de 10,46 °C (tableau I - 1).

À partir des données de température et précipitation on a établi le diagramme Ombrothermique de Gaussen (Figure I - 04) qui montre :

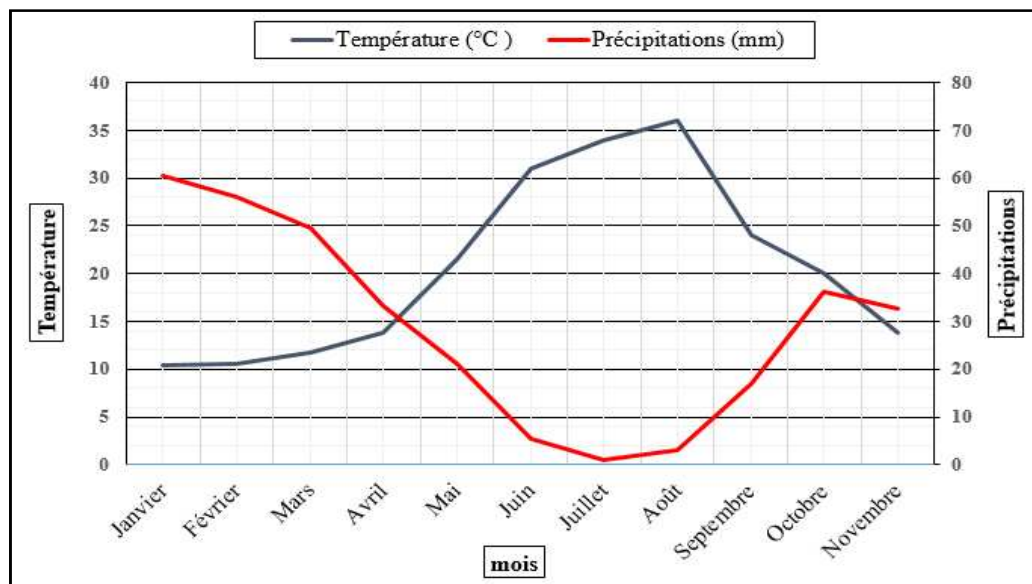


Figure I - 04: Diagramme ombrothermique de Gausson

- Une période sèche qui ça dure 8 mois, d'Avril jusqu'au Octobre
- Une période humide de 5 mois du Novembre jusqu'au février

I.2.4. Bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite

La calcul du bilan hydrique selon la méthode de Thornthwaite en utilisant les données climatique de la station H'madna pour l'année 2014 nous permet de donner un aperçu global de la plaine.

Mois	Janv	Fév	Mars	Avr	Mai	Juin	Juil	Aout	Sept	Oct	Nov	Déc	Annuel
T°C	10,46	10,50	11,80	13,80	21,55	31,00	34,00	36,00	24,00	20,00	13,75	10,82	
i	3,06	3,07	3,67	4,65	9,13	15,84	18,21	19,86	10,75	8,16	4,63	3,22	104,25
K	0,70	0,80	1,00	1,20	1,30	1,30	1,30	1,20	1,10	0,90	0,80	0,70	
P (mm/mois)	60,50	56,13	49,50	33,13	21,13	5,38	1,05	3,05	16,88	36,25	32,50	56,38	371,88
ETP (mm)	12,17	14,03	22,59	38,06	108,36	238,36	291,21	304,27	115,80	63,81	25,17	13,10	
ETR (mm)	12,17	14,03	22,59	38,06	103,68	5,38	1,05	3,05	16,88	36,25	25,17	13,10	
RFU (mm)	100,00	100,00	100,00	95,07	7,84	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	7,33	50,60	
Da (mm)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	232,98	290,16	301,22	98,92	27,56	0,00	0,00	950,24
Sw (mm)	48,33	42,10	26,91	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	117,34
Ruislt (mm)	Calculé par la formule de formule empirique de Tixeront Berkalof												11,04
Infilt (mm)	Sw – ruissellement (117,31-11,04)												105,89

Tableau I – 2 : Bilan hydrologique

- On a une précipitation annuelle de 371, 88 mm
- On a une évapotranspiration annuelle de l'ordre de 1246,95 mm ;

- Un déficit agricole (Da) de ; 950,24 mm
- Un surplus d'eau de (Sw) de 117,34 mm
- Une lame d'eau ruisselée de 11,44 mm
- Une lame d'eau infiltrée de 105,89 mm

$$i = \left(\frac{T}{5}\right)^{1,5}$$

$$ETP = 16\left(10\frac{T}{I}\right)^a K$$

$$a = 1,6\frac{I}{100} + 0,5$$

$$R = \frac{P^3}{3(ETP)^2}$$

Où :

ETP : est l'évapotranspiration potentielle du mois considéré (en mm d'eau) ;

T : est la température moyenne mensuelle du mois considéré ;

I : est l'indice thermique annuel (somme des indices thermiques mensuels

$$I = \sum_{1}^{12} i$$

a : exposant (constante)

K : est un coefficient d'ajustement mensuel.

La méthode empirique de Thornthwaite permet de calculer l'évapotranspiration potentielle « ETP » exprimée en (mm) à partir des données de base (précipitations moyennes mensuelles, températures moyennes mensuelles (T en °C), le coefficient thermique mensuel (K) et l'indice thermique mensuel (i).

Principe de calcul du bilan hydrologique selon la méthode de Thornthwaite :

a) Si pour un mois $P \geq ETP$:

- $ETP = ETR$,

- L'excédent ($P - ETP$) est affecté en premier lieu à la RFU (si le sous sol a un pouvoir d'infiltration élevé, cet excédent va constituer la composante verticale de l'écoulement souterrain ou l'infiltration efficace vers la nappe), et si la RFU est complète, cette quantité restituée ($P - ETP$) va alimenter l'écoulement Q.

b) Si $P < ETP$:

- Il faudra évaporer toute la pluie et prendre à la RFU (jusqu'à la vider) l'eau nécessaire pour satisfaire l'ETR soit :

$$* ETR = P + \min(RFU, ETP - P) \quad * RFU = 0 \text{ ou } ETR = RFU + P - ETP$$

- Si $RFU = 0$, la quantité ($Da = ETP - ETR$) représente le déficit agricole, c'est-à-dire sensiblement la quantité d'eau qu'il faudrait apporter aux plantes.

I.3. Cadre Géomorphologique

I.3.1. Les sous bassins

Notre région elle appartient au sept sous bassin, comportant leurs caractéristiques, tel que le périmètre, la superficie, et le coefficient de Gravelius comme le montre le **tableau I - 3** ci-dessous

Nom sous Bassin	Code	Périmètre [Km]	Superficie [Km ²]	K _G
O. Riou Tleta	126	180,78	783,47	1,81
O. Djidiouia	127	16,38	839,53	0,16
O. Cheliff Tarhia	128	145,07	772,78	1,46
O. Mina Haddad	134	189,08	1240,34	1,50
O. Cheliff Ouarizane	124	122,82	574,76	1,43
Chéiff Maritime	136	124,63	495,59	1,57
O. Mina Aval	135	205,34	1425,35	1,52

Tableau I – 3 : Division des sous bassins

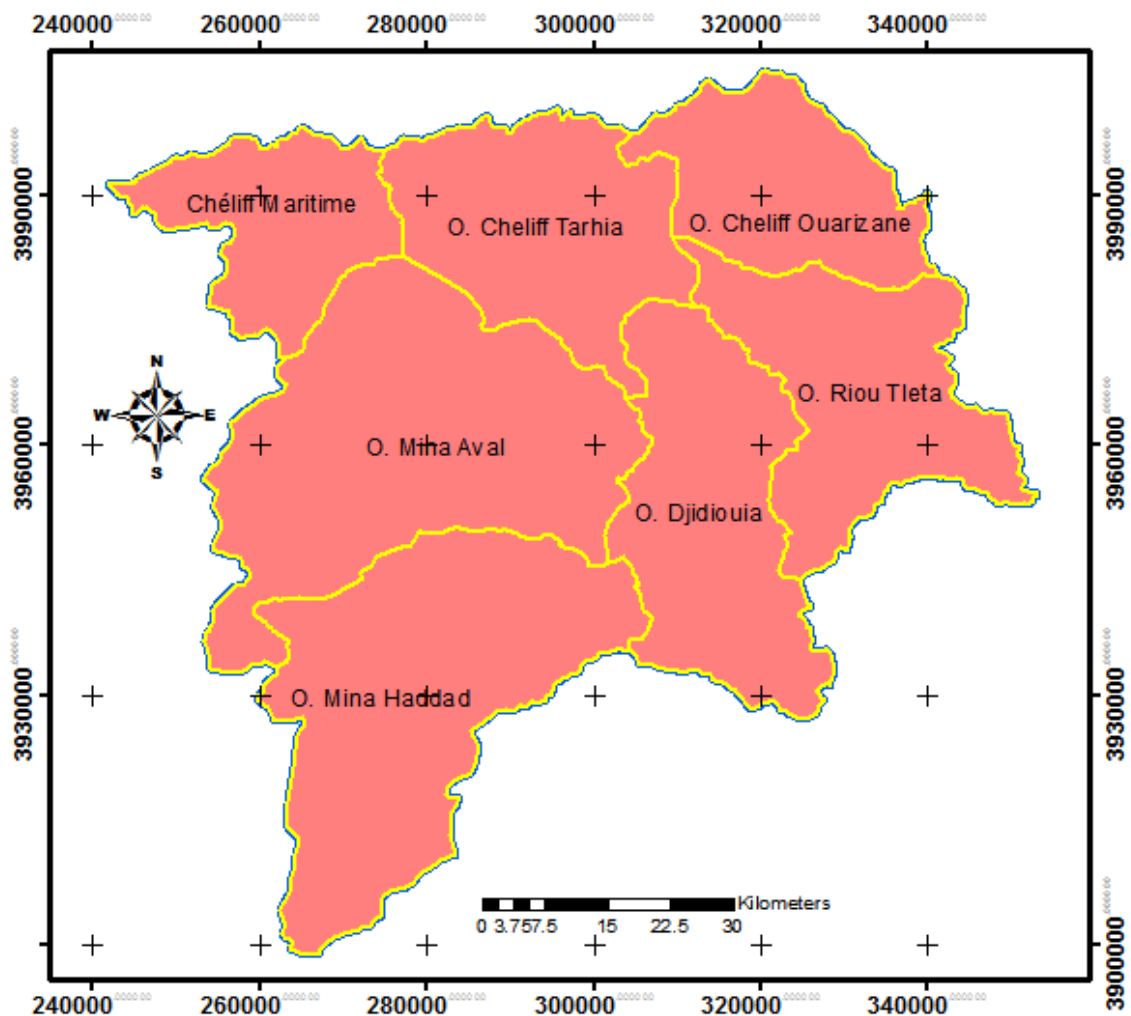


Figure I – 05 : Division des sous bassins

I.3.2. Morphologie

La Plaine du Bas-Cheliff est relativement plate avec des pentes qui sont quasi nulles, qui favorisent la recharge au bien la stagnation surtout avec le mauvais drainage au niveau de cette région. Cette plaine est comprise entre deux massifs montagneux : le Dahra et l’Ouarsenis. Prenant son origine au niveau de la rupture de pente entre le moyen et le Bas-Cheliff, à proximité de Merdjet Sidi Abed, la plaine commence à s’étendre de part et d’autre du lit de Oued Cheliff en faisant jonction avec Oued Rhiou et Oued Djidiouia sur la rive gauche et avec les nombreux Oueds venant du Dahra, sur sa rive droite jusqu’à atteindre les apports de Oued Mina. Sur la partie gauche du Cheliff, s’étend la plaine jusqu’à ce qu’elle atteigne le bourrelet formé autour du Sebkat ou la pente du terrain augmente progressivement. Au milieu de la plaine, la pente du terrain est modérée et augmente progressivement jusqu’aux villes situées aux piémonts d’Ouarsenis, de même pour la rive droite

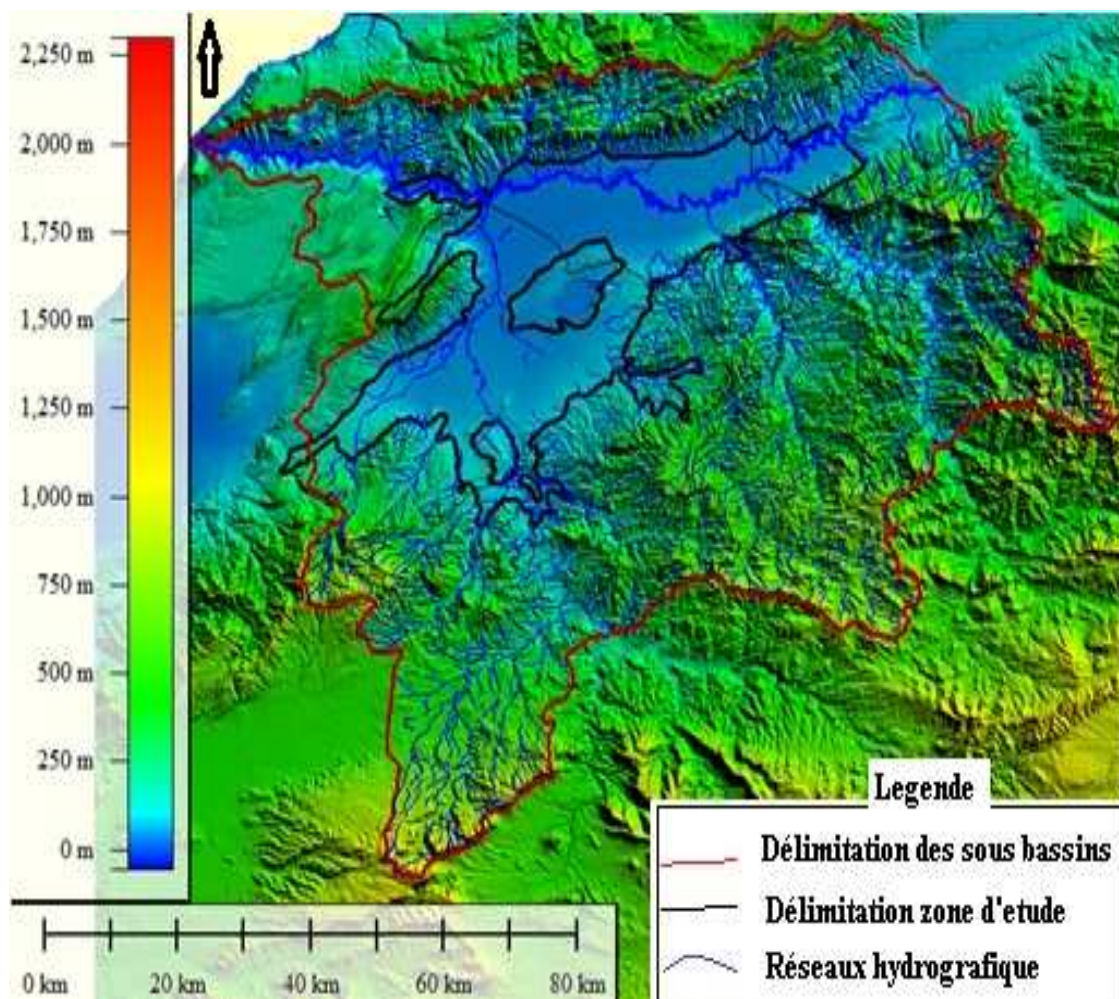


Figure I - 06: Morphologie de la région

Les principales formations géomorphologie

1. Les glacis colluvionnaires

Assez étroits de 3 % à 5 % qui se retrouvent en bordure de la plaine où les formations récentes sont dominantes. La présence des croûtes calcaires qui caractérisent les formations plus anciennes est peu fréquente. Dans le cas échéant, on les retrouve en conséquent sur les piémonts du Sud des villes tel que : Oued Rhiou et de Djidiouia. Ils sont constitués par des matériaux en provenance des calcaires du Miocène supérieur.

2. La plaine alluviale

Le Bas-Chélif est une plaine alluviale datant du Rharbien. Les alluvions qui la constituent sont d'une épaisseur considérable (plusieurs dizaines de mètres), les matériaux récents originaires des bassins versants du Chélif, de l'oued Rhiou et de l'oued Djidiouia sont ces constituants principaux (dominance des schistes et des marnes du Miocène et du Pliocène souvent riches en sels)

Lors la plaine ces formations récentes constituent la plaine proprement dite avec une pente très faible et des sols non évolués.

3. Les lits des oueds actuels

Les lits d'oueds sont encaissés dans la terrasse alluviale du Rharbien à un niveau inférieur à 10 mètres. Les bords sont très escarpés et très abrupts.

L'oued Chlef est le principal oued de la plaine, il la traverse d'Est en Ouest. Au moment des grandes crues, il déborde sur les terrasses récentes en déposant en bordure de ses berges des bourrelets alluviaux le plus souvent sableux connus sous le nom de formations actuelles et qualifiés de formations modernes par Gaucher (1947).

L'oued Rhiou et l'oued Djidiouia forment des cônes de déjections assez étendus en contact avec la plaine du Bas-Chélif. Certains cours d'eau qui n'ont pu creuser leur lit jusqu'à l'oued Chlef, forment des cônes de déjection en pleine plaine.

4. La Sebkhha de Benziane

C'est une dépression naturelle (cuvette elliptique de 5 km de long sur près de 3 km de large, bordée au nord de falaise d'environ 15m) cavée dans la région de Benziane au Nord de la ville de Oued El Djema. Boulaine (1957) avait retenu l'hypothèse selon laquelle la sebkhha a été formée par déflation éolienne d'une zone où s'étaient formés des sols salés à la suite de mouvements tectoniques par la combinaison d'un creusement au centre du bassin et d'une accumulation en bordure d'un bourrelet éolien.

En hiver, elle est recouverte par une couche d'eau d'environ 30 cm d'eau en son centre, en été, il y a accumulation des sels qui apparaissent sous forme d'une épaisse croûte blanchâtre. En plus de la Sebkhha de Benziane, il existe d'autres cuvette qui sont : la Daya, la dépressin du Douar Djerada, elle entourées de reliefs assez élevées que l'on appelle des lunettes (Boulaine, 1957).

5. La Gaa

C'est une dépression fermée, couverte par des formations récentes très argileuses, elle se trouve dans la rive droite de l'oued Mina. On y retrouve des petits cours d'eau qui constituent des artères permettant une circulation d'eau vers le centre de la dépression où les eaux stagnent sur pratiquement toute l'année provoquant dans ceci une hydromorphie et une salinisation importantes des sols (Douaoui, 2005).

6. La colline de partage

C'est un relief caractéristique dans cette partie des plaines du Chélif qui domine Merdjet Sidi Abed d'une dizaine de mètres. Cette formation marque la limite entre la plaine du Bas-Chélif et la plaine du Moyen-Chélif. A ce niveau, la plaine alluviale est très étroite et ne fait que 2 à 3 km de

large. Cette colline fait partie d'une série d'autres collines qu'on retrouve dans les autres plaines du Chélif (Moyen et Haut-Chélif). Les formations géologiques de ces collines sont continentales du Pliocène supérieur, du Villafranchien et du Quaternaire moyen, dont le matériau est un mélange de limons, de sables, de cailloux et de galets (in ; Belouazni, 2010).

Le bassin du bas Chélif est compartimenté en deux parties (Figure. 02) :

Une partie orientale bordée par les massifs du Dahra et de Beni Menacer au Nord, et par les massifs d'Ouarsenis au Sud. Cette partie englobe trois grandes plaines, qui sont d'est en ouest :

- La plaine de Ec- chelif -Boukadir
- La plaine d'oued Rhiou ;
- La plaine de Hamadenas.

Une partie occidentale : limitée au Nord par le Sahel d'Oran, (Djebel Murdjadjo et Djebel Ourousse) et au Sud par les Monts de Beni Chougrane et les Tessala.

Il s'agit d'un sillon d'une vallée à fond plat (Pontéba est à 110 m d'altitude, et Relizane à 90 Km située au SW est à 70 m d'altitude). La plaine du bas Chélif représente à son centre un rétrécissement de section (2 à 3 Km) qui se manifeste au niveau de la localité de Boukadir. Ce rétrécissement qui dépend de l'émergence des reliefs d'El Kherba, donne un aspect de couloir étroit traversé par l'oued Chélif. La plaine du bas Chélif correspond à :

- Une étroite bande dans sa partie orientale, qui s'étend depuis la ville d'Ech- Chlef jusqu'à la ville de Merdja Sidi Abed (de l'ordre de 7 à 9 Km de largeur) ;

Une plaine plus ouverte et large dans sa partie occidentale (qui peut atteindre une trentaine de kilomètre). Cet évasement de section est marqué depuis la ville d'Oued Rhiou jusqu'à la ville d'El Hmadna.

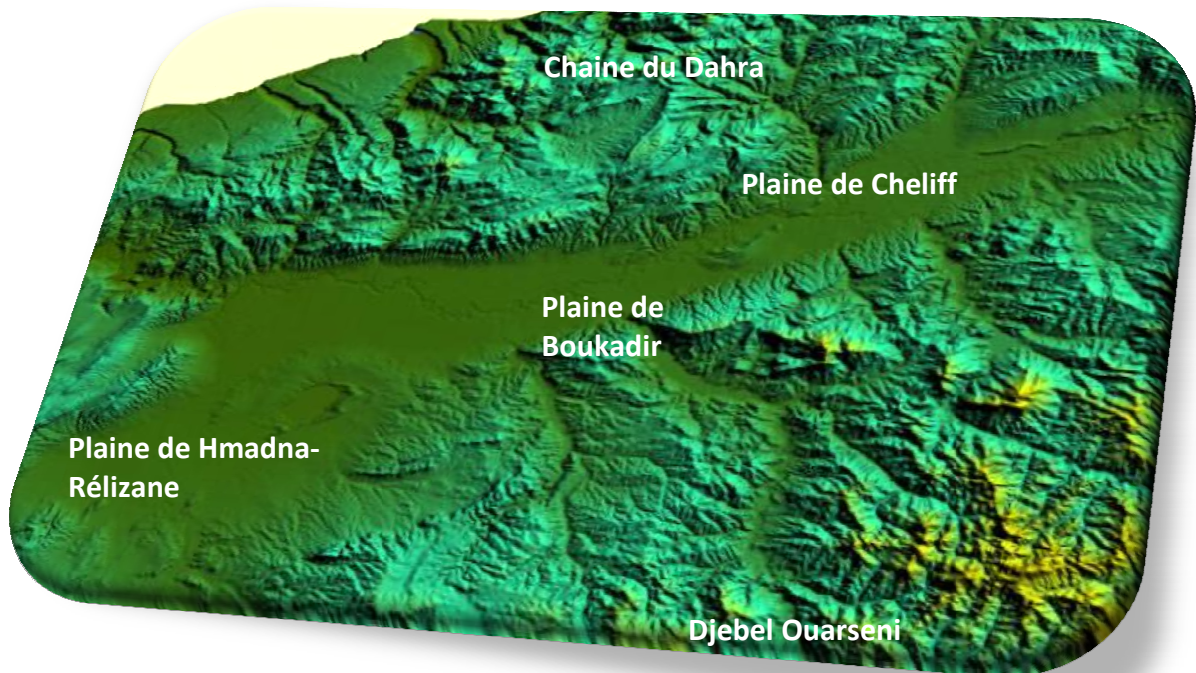


Figure I - 07 : Grands traits géomorphologiques de la plaine alluviale du bas Cheliff (photosatellite)

I.3.3. Réseau hydrographique

Le réseau hydrographique est d'autant plus dense que le climat est plus humide, que les pluies sont plus abondantes, les pentes plus fortes, les roches ou formations superficielles moins perméables.

Le réseau hydrographique apparaît soit en gestation soit en voie de disparition et un certain nombre de région ne représentent qu'un écoulement intermittent, sinon une absence totale de drainage (Perrodon, 1957). Le Cheliff, cours d'eau le plus important d'Algérie, commande toute l'hydrographie du bassin du Cheliff. Il s'étale sur une longueur de 800km d'Est en Ouest et prend sa source depuis l'Atlas Saharien (région d'Aflou) avant de se déverser dans la mer tout près de Mostaganem.

Après avoir traversé le bassin du moyen Chélif, il draine la gouttière qui sépare le massif du Dahra et de l'Ouarsenis en s'abaissant régulièrement de 250 m à 40 m à sa confluence avec l'oued Mina.

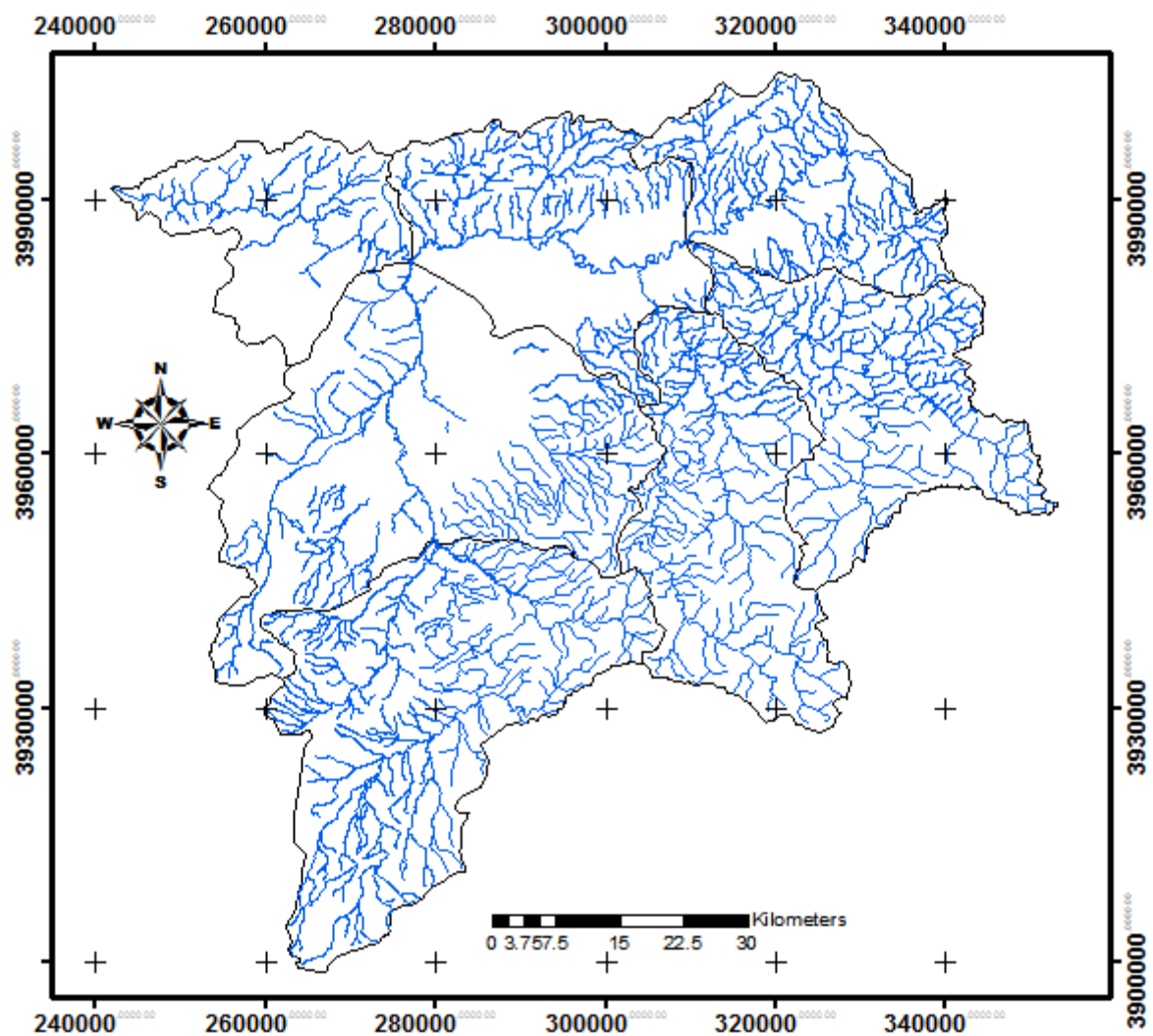


Figure I - 08: Le réseau hydrographique

I.4. Géologie, Hydrogéologie, et pédologie

I.4.1. Géologie

La plaine est relativement jeune parce qu'elle date seulement du quaternaire, c'est un synclinal comblé du rharbien (quaternaire) encadré au Nord et au sud par des collines de l'âge Miocène pliocène (tertiaire). En conséquence, ces bordures fournissent directement par érosion les alluvions de la plaine du Bas-Chélif (McDonald et BNEDER, 1990).

Vers le sud, l'oued Rhiou et l'oued Djidouia traversent les collines, comprennent de schistes et de marnes salés, ce qui justifie la haute salinité des sols alluviaux de la plaine ainsi que le niveau de la salinité des eaux de la retenue du barrage Gargar. (McDonald et BNEDER, 1990).

Au Nord, les collines de Dahra sont composées principalement par les marnes et de limons argileux qui changent vers l'ouest en sables et des conglomérats plus grossiers. Encore une fois, certains de ces lits sont salés.

Les collines de l'Est du bas Cheliff sont plus récentes que le Dahra et le massif de l'Ouarsenis, d'âge Villafranchien et sont composées de limons calcaires intercalés de sables.

D'après A. PERRODON, 1957, le bassin du Chélif qui évolue dans ce domaine géologique de l'Algérie alpine (l'Atlas tellien) est qualifié comme un bassin subsident de type intramontagneux fonctionnant en Graben le long de grandes flexures bordières.

- Les terrains néogènes et quaternaires dans la zone centrale du bassin ;
- Le substratum, essentiellement secondaire sur les bordures du bassin représenté par :
 - ✓ Les monts de l'Ouarsenis au Sud, du Dahra au Nord et par les massifs épimétamorphiques à schistosités du Doui, Rouina et Temoulga à l'Est (F.ACHOUR, 1997).
 - ✓ Les terrains allochtones mis en place lors des différentes phases tectoniques alpines (Eocène moyen, Miocène inférieur).

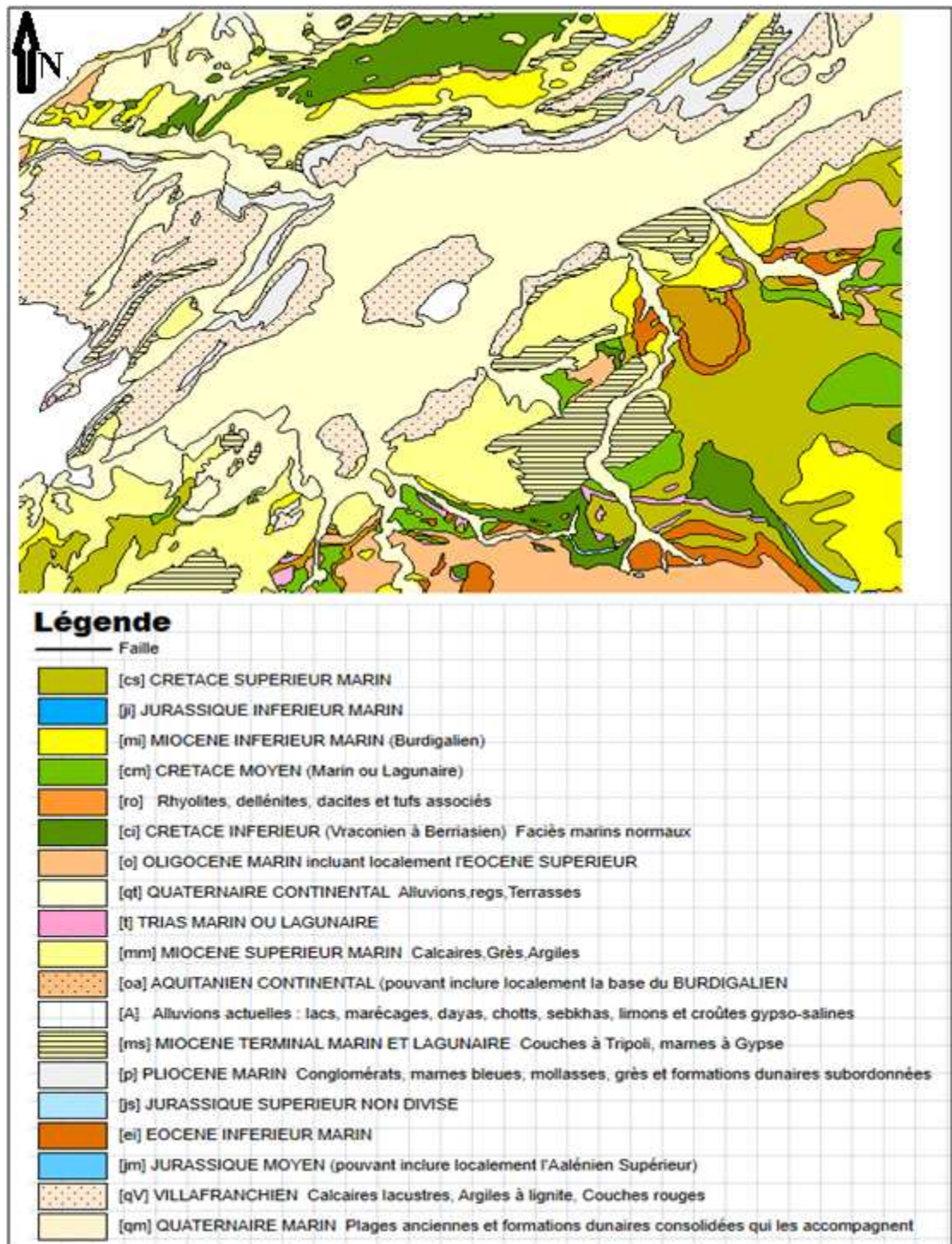


Figure I - 09: Extrait de la carte 1/50000 de l'Algérie

La région d'étude comprend deux ensembles lithologiques :

- Les formations anténéogènes

Le substratum des dépôts sédimentaires néogènes est constitué de terrains autochtones d'âge Primaire et des terrains allochtones (nappes de charriage) d'âge Crétacé inférieur-Oligocène. Le substratum autochtone affleure en îlots dans le bassin du bas Cheliff tandis que les nappes affleurent sur ses bordures.

- Les formations néogènes et quaternaires

a. Les terrains néogènes post nappe :

Les terrains néogènes correspondent à une épaisse accumulation de dépôts Mio-plio-quaternaires issus du démantèlement des reliefs environnants et reposent en discordance sur les formations anciennes.

b. Les terrains Quaternaires

La mer se retire dans le golfe de « Mostaganem » ; et la subsidence continue du sillon du Cheliff amène les dépôts sédimentaires détritiques quaternaires plus ou moins grossiers essentiellement continentaux (M.SHRAMBACH, 1966).

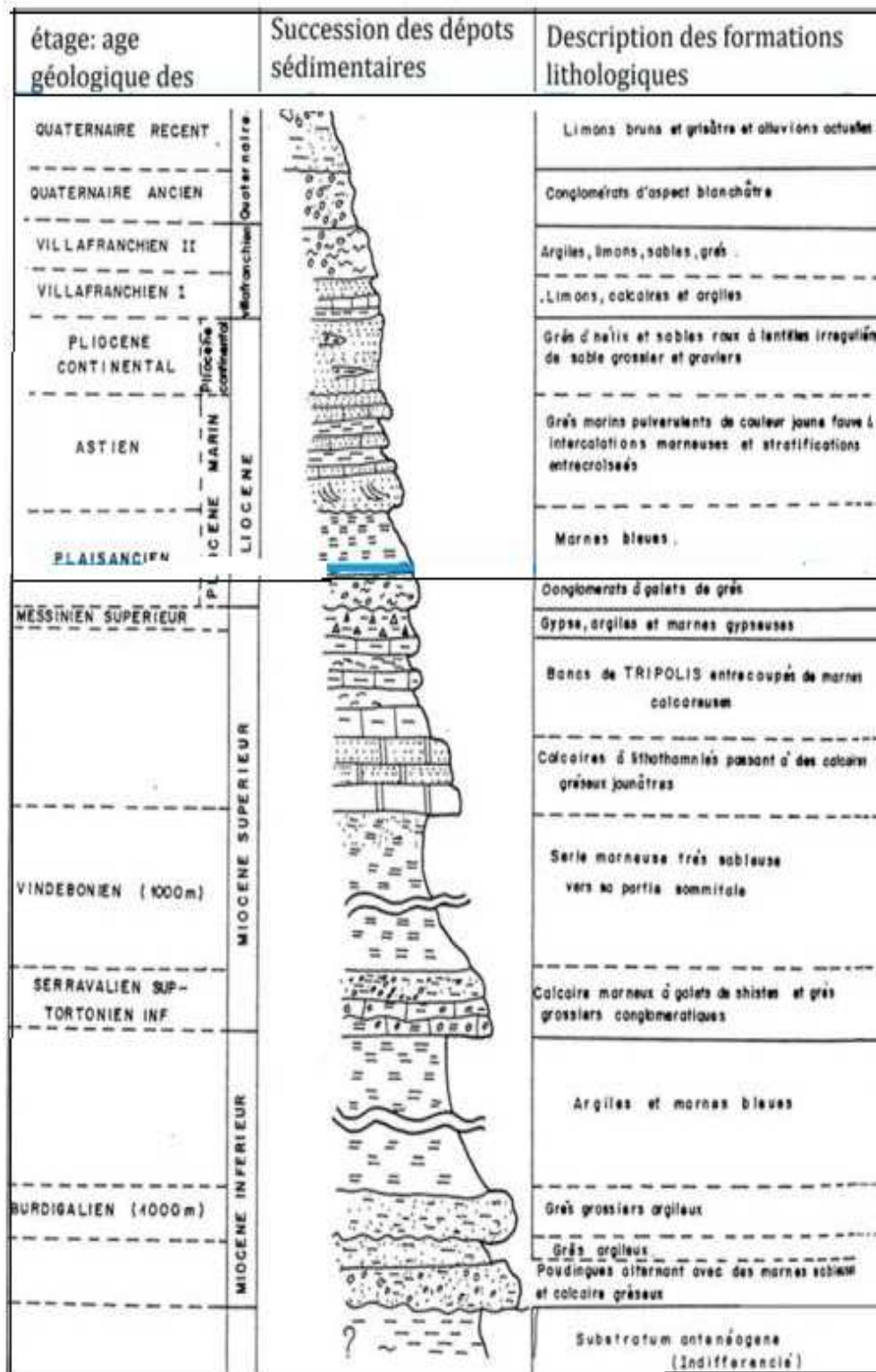


Figure I - 10: Log stratigraphique synthétique de la région d'étude (F.ACHOUR, 1997).

I.4.2. Hydrogéologie

Identifications des formations

Les principaux aquifères du Bas-Chélif sont :

- le Miocène calcaire : il affleure le long de la limite sud de la plaine. Les descriptions lithologiques ont montré l'existence de zones de fracture productives entre 37 et 60 m.
- Le Pliocène marin : c'est une suite d'argiles et de marnes avec des couches minces de grès qui affleurent au nord de la plaine. On le retrouve dans la région d'Ouarizane à plus de 55 m de profondeur et dans la région de Sebkheth Benziane à plus de 400 m de profondeur.
- Le Quaternaire-Pliocène continental : il est constitué de sédiments à base d'argile, de marnes et des lits de sable, de graviers et de conglomérats.

I.4.3. Pédologie

Boulaine (1957) distingue deux grandes divisions des sols :

- **les sols des bordures des plaines** : ces sols sont formés par des associations de sols plus ou moins érodés, qui peuvent évoluer sur du calcaire dur ou tendre, des grès ou des marnes. Lorsque la roche n'affleure pas à la surface, ce sont des sols généralement calcimagnésiques.
- **les sols de la plaine proprement dite** : cinq classes ont été décrites : les sols salés, les sols hydromorphes, les vertisols, les sols peu évolués alluviaux et colluviaux et les sols calcimagnésiques.

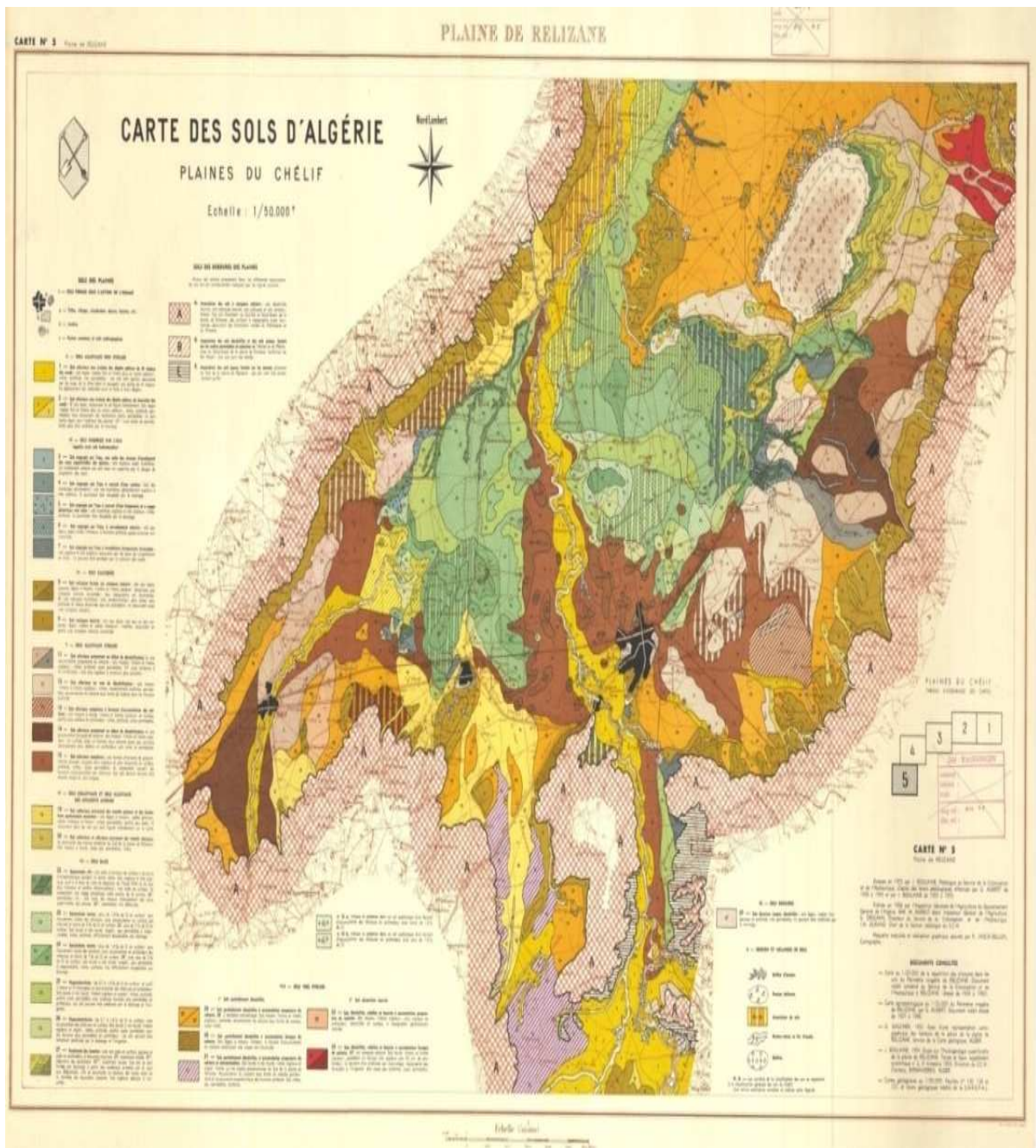


Figure I - 11: Carte pédologique de la région d'après BOULAINÉ source ANRH

I.5. Cadre Socio-économique

I.5.1. Agriculture et Industrie

Région à vocation agricole, spéculations qui y sont pratiquées sont les céréales, les fourrages, les cultures maraichères, les cultures industrielles, l'agriculture fruitière et les légumes secs réparties sur plusieurs périmètres où l'irrigation est fréquente, dont les plus importants sont : le périmètre de Oued Rhieu, le périmètre de Ouarizane, le périmètre de Djédouia, le périmètre Hmadna et le périmètre de Guerouaou

Tissu industriel peu développé dans le bassin du Bas Cheliff. Quarante sept (47) unités industrielles y sont implantées, principalement dans les deux zones industrielles de Relizane et Tiaret et autour des grandes agglomérations.

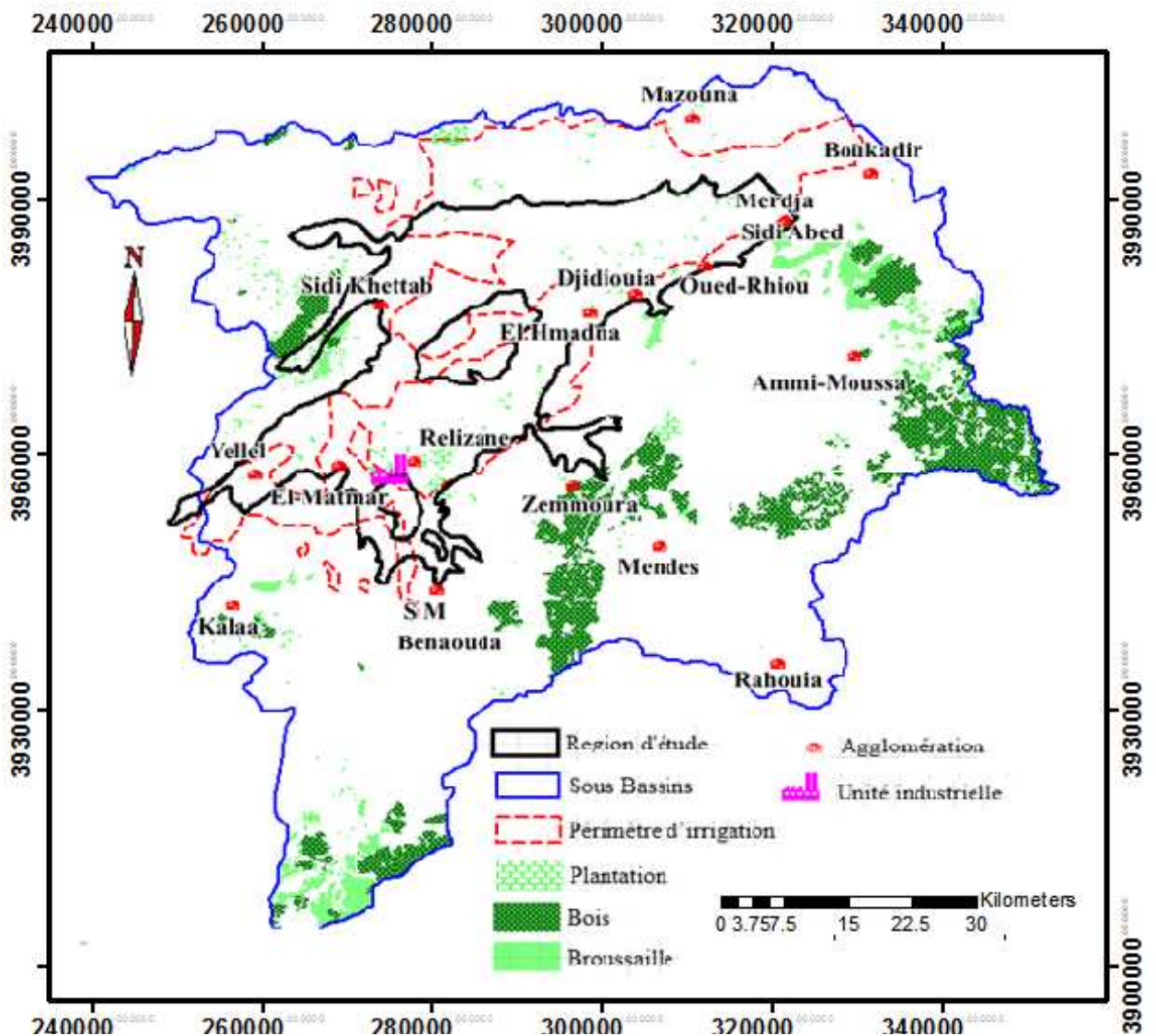


Figure I - 12: Carte de l'occupation du sol

Conclusion

Après avoir traité les différents paramètres climatiques enregistrés au niveau des stations pluviométriques utilisées pour réaliser cet aperçu ; on déduit que la plaine du bas Chélif est soumise à l'influence méditerranéenne au Nord et continental au Sud. Elle est caractérisée par des étés très chauds et secs et des hivers froids et humides. Ces caractéristiques sont représentatives d'un climat semi-aride.

La géologie permet l'identification des formations lithostratigraphiques susceptibles d'être aquifères pour étudier leurs caractéristiques (la lithologie, la structure et la genèse des vides à travers le terrain aquifère qui donne sa fonction capacitive et de l'écoulement des eaux souterraines à travers celui-ci, son épaisseur probable à l'échelle de toute la région d'étude ; et son étendu spatial). Le bassin du bas Chélif correspond à un large synclinorium contenant des formations néogènes et quaternaires. Le plissement à grand rayon de courbure des formations miocènes est dû à une phase de distension qui aurait débutée à la fin du Miocène inférieur.

II.1. Concept de vulnérabilité des eaux souterraine à la pollution

II.1.2. Notion de vulnérabilité à la pollution : Le terme « vulnérabilité » de l'eau souterraine à la contamination aurait été pour la première fois utilisé par Margat (1968). Le concept de vulnérabilité de l'eau souterraine est généralement défini comme « la capacité d'un système hydrogéologique à transmettre un contaminant potentiel depuis la surface du sol jusqu'à atteindre la zone saturée ». Véhiculé depuis l'eau des précipitations qui s'infiltré à la surface du sol, le contaminant percole ainsi à travers la zone non saturée (vadose) jusqu'à atteindre la zone saturée. Certains auteurs l'ont défini comme une propriété intrinsèque des aquifères ; d'autres estiment que la vulnérabilité est liée aux propriétés spécifiques du contaminant. Cependant, d'autres auteurs l'associent aux activités humaines et à la qualité agro-pédologique des terrains de surface.

La vulnérabilité d'une nappe traduit la facilité avec laquelle elle peut être atteinte par une pollution provenant de la surface du sol. Selon une approche déterministe « Source-Transfert-Récepteur », la vulnérabilité correspondrait au module « Transfert » en représentant le transport d'un contaminant depuis la source jusqu'au milieu récepteur. Le module « Source » représente la répartition spatiale de la charge de contaminant à la surface du sol et le module « Récepteur » est l'eau souterraine.

II.1.3. Types de vulnérabilité

- a) **La vulnérabilité intrinsèque** 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. La « sensibilité intrinsèque » d'un aquifère en fonction des caractéristiques intrinsèques géologiques et hydrogéologiques du milieu et la « vulnérabilité spécifique » ou simplement la « vulnérabilité » d'un aquifère en incluant l'occupation du sol et les caractéristiques d'un contaminant. En Europe, la « vulnérabilité intrinsèque » d'un aquifère est définie comme uniquement fonction des paramètres hydrogéologiques.
- b) **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 » comme décrivant 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'évaluation de la vulnérabilité.

Elle peut en être également distincte quand l'approche de type « étude de risque » est utilisée.

II.1.4. Les critères de vulnérabilité

II.1.4.1. Critères de vulnérabilité intrinsèque : La vulnérabilité d'une nappe dépend de multiples facteurs intervenant soit sur la nature et/ou la concentration de la contamination, soit sur son temps de transfert. L'ensemble des critères de vulnérabilité rencontrés dans la littérature sont exposés ci-dessous.

Critères relatifs au sol

- **Ruissellement – infiltration :** Le ruissellement et l'infiltration efficace (quantité d'eau s'infiltrant jusqu'à la nappe) sont représentatifs de la recharge de la nappe. Ils sont étroitement liés à la topographie et à la nature des formations superficielles.
- **Couverture Pédologique :** La nature, la texture, la teneur en argiles et en matière organique, ainsi que la puissance (ou épaisseur).

Critères relatifs à la zone non saturée

- **Profondeur de la nappe libre :** L'épaisseur de la Zone Non Saturée conditionne le temps de transfert d'un polluant jusqu'à la nappe (rétention, stockage, interactions physico-chimiques avec l'encaissant).
- **Amplitude de battement de nappe :** Elle peut devenir un critère de vulnérabilité dans la mesure où elle est significative (l'amplitude de battement de la nappe, conditionne l'épaisseur du recouvrement de la nappe).
- **Perméabilité verticale de la zone non saturée :** Elle dicte le temps de transfert vertical d'un polluant vers la nappe.

II.1.4.2. Critères de vulnérabilité spécifique : Le comportement du polluant potentiel (milieu fixe) dépend des caractéristiques du milieu, mais également des propriétés physico-chimiques et biologiques du composé lui-même (réactions acides bases, d'oxydoréduction, de désorption, biodégradation, synthèse cellulaire, diffusion, évaporation, filtration, transport de germes,...).

Capacités dispersives et épuratoires des sols : Concerne les propriétés auto épuratoires des sols.

Qualité du réseau hydrographique : Le réseau hydrographique peut être vecteur de contaminations vers les eaux souterraines.

Typologie de l'occupation du sol : L'occupation du sol conditionne les volumes et la nature des polluants potentiels (forêt, cultures, élevage, habitat, tissu industriel, etc....).

II.2. Cartographie de vulnérabilité à la pollution

Objet de cartographie : La sensibilité d'une nappe à la pollution est une notion non mesurable dépendant des paramètres propres de la nappe, car elle est définie par rapport à une pollution qui a déjà atteint la nappe, à partir de la zone non saturée ou d'un ouvrage d'eau souterraine (puits, forage, etc.).

L'objectif d'une carte de la vulnérabilité d'un système en eau souterraine à la contamination est de fournir le potentiel et le degré de risque de contamination, mais aussi le degré des conséquences possibles d'une contamination, de même que les éléments nécessaires, tant pour la prévention que pour les mesures mises en place à la suite d'une contamination. La cartographie de la vulnérabilité de l'aquifère permet une meilleure gestion de la nappe et des interventions rapides et appropriées en cas de pollution.

II.2.1. 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. Il existe plusieurs méthodes pour évaluer la vulnérabilité des aquifères :

1. **DRASTIC** a été mise au point par l'EPA (Environmental Protection Agency) aux Etats-Unis en 1985, afin d'estimer le potentiel de pollution des eaux souterraines (Schnebelen et Al, 2002). Elle permet d'évaluer la vulnérabilité verticale en se basant sur sept critères.
 2. **DRASTIC modifiée** proposée par Sinan pour École Hassania des Travaux Publics, se base sur les paramètres DRASTIC, relatifs à la zone non saturé de la nappe et le type de sol. En effet, 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) n'interviennent pas dans le transfert.
 3. **GOD** Ce système a été développé par Foster en 1987. Il présente la vulnérabilité de l'aquifère face à la percolation verticale de polluants à travers la zone non saturée et ne traite pas la migration latérale des polluants dans la zone saturée. Cette méthode est basée sur l'identification du type de nappe, type d'aquifère en termes de facteurs lithologiques et la profondeur de la nappe. Le but de cette méthode est de réaliser une estimation rapide de la vulnérabilité d'un aquifère.
 4. **AVI**. (Canada) Aquifer Vulnerability Index. Cette méthode cherche à évaluer le temps de transport d'éventuels contaminants en fonction de l'épaisseur de la Z.N.S. Elle a été appliquée en 2005 en étant comparée à l'application de la méthode GOD.
- D'après (Ake et al. 2009), l'importance de GOD réside dans le fait qu'il tient seulement compte des facteurs les plus significatifs pour évaluer la vulnérabilité. La base de données relative à ces paramètres est facilement accessible contrairement à la méthode DRASTIC où les paramètres tels que la recharge, la zone non saturée qui jouent un rôle prépondérant dans la migration d'un polluant sont évalués avec beaucoup d'approximations.

Tableau II – 01 : Les différentes méthodes pour l'estimation de la vulnérabilité

Méthodes	Paramètres						
	Topographie	Epaisseur	Recharge	Zone non saturé	Profondeur de la nappe	Zone Saturé	Conductivité hydraulique
DRASTIC (Aller & al, 1987)	X	X	X	X	X	X	X
DRASTIC modifié (École Hassania/Maroc)	X	X	X	X	X	X	X
GOD (Foster & al 1987)		X		X	X	X	
AVI (Stempvoot 1992)		X		X			X

II.2.2. Aspect théorique de la méthode DRASTIC

La méthode DRASTIC développée par Aller et al. (1987), sous l'égide de l'Agence Américaine de Protection de l'Environnement USEPA, est une méthode d'évaluation de la vulnérabilité verticale intrinsèque à la pollution des aquifères, par systèmes paramétriques.

II. 2.2.1. Hypothèses de la méthode : Elle tient compte de quatre hypothèses principales :

1. Elle s'applique à des unités cartographiques de superficie supérieure à 40 ha.
2. La source de polluant est localisée à la surface du sol.
3. Les polluants sont entraînés depuis la surface du sol jusqu'à l'aquifère par l'infiltration efficace.

4. Dans le cas où la source de pollution est située en profondeur dans le sol, la méthode reste valable à condition de modifier les paramètres affectés par la position de la source de pollution.

La méthode DRASTIC permet de déterminer le degré de vulnérabilité et le potentiel polluant des eaux souterraines. C'est une méthode paramétrique qui utilise la somme des produits des sept paramètres.

D : profondeur d'eau (**D**ePTH of water)

R : la recharge efficace (net **R**echarge)

A : les matériaux de l'aquifère (**A**quifère media)

S : le type de sol (**S**oil media)

T : la topographie ou la pente (**T**opography)

I : l'impact de la zone vadose ou zone non saturée (**I**mpact of the vadose zone)

C: la perméabilité ou la conductivité hydraulique de l'aquifère (hydraulic Conductivity of the aquifer).

II.2.3. Description des paramètres DRASTIC

Épaisseur de la zone non saturée (D) : L'épaisseur de la zone non saturée permet de prendre en compte l'impact de la zone vadose ou zone non saturée (ZNS) du sol qui correspond à la partie du sous-sol située entre la surface du sol et le toit de la nappe alluviale.

C'est essentiellement dans cette zone où les pores du sol sont partiellement remplis d'eau et d'air que les phénomènes d'autoépuration ont lieu. Ce paramètre permet de représenter de façon indirecte le temps de propagation verticale d'un polluant dans la zone non saturée vers l'aquifère.

Recharge efficace(R) : La recharge de l'aquifère est le principal vecteur des contaminants vers les eaux souterraines. Le contaminant peut mieux se solubiliser et atteindre la nappe en plus grande quantité lorsque la recharge est grande.

Les matériaux de l'aquifère (zone saturée(A)) : Une nappe aquifère est une formation géologique, ou groupe de formations, contenant de l'eau libre. La circulation et la propagation d'un contaminant dans la zone saturée dépendent de la texture et de la lithologie des couches de l'aquifère. Cela est toujours contrôlé par la granulométrie, la porosité, la perméabilité et la lithologie des formations géologiques. Ce paramètre est obtenu par corrélation lithostratigraphique.

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.

La Topographie ou la Pente (T) : Le paramètre topographie est représenté dans la méthode DRASTIC par les valeurs de la pente en pourcentage. Ce paramètre traduit l'aptitude au ruissellement et à l'infiltration des eaux superficielles vers la nappe et reflète donc la capacité de ces eaux à introduire des agents polluants vers la nappe. En effet, plus la pente des terrains est grande, plus le ruissellement des eaux est important et par conséquent la contamination des eaux souterraines est faible.

L'impact de la zone vadose ou zone non saturée (I) : Il est fondamental pour appréhender le temps de transfert d'une pollution jusqu'à la nappe ainsi que la possibilité pour cette pollution d'être traitée en cours de transfert. Elle est obtenue par la différence entre la surface topographique et la cote piézométrique maximum de la nappe.

La perméabilité ou la Conductivité hydraulique de l'aquifère (C) : La conductivité hydraulique décrit les caractéristiques des terrains aquifères. Il s'agit d'une mesure de la vitesse de déplacement du polluant dans la zone saturée. Ainsi, les vitesses d'écoulement souterrain fortes sont caractérisées par une grande vulnérabilité.

II.2.4. Détermination de l'indice DRASTIC

La méthode DRASTIC permet de déterminer le degré de vulnérabilité et le potentiel polluant des eaux souterraines. L'indice de vulnérabilité est égal à la somme des produits (coefficient * poids) des sept paramètres DRASTIC selon l'équation suivante :

$$I_{\text{DRASTIC}} = [\text{DR} \cdot \text{DW} + \text{RR} \cdot \text{RW} + \text{AR} \cdot \text{AW} + \text{SR} \cdot \text{SW} + \text{TR} \cdot \text{TW} + \text{IR} \cdot \text{IW} + \text{CR} \cdot \text{CW}]$$

W (Weight) : Poids du paramètre

R (Ranking) : Indice ou coefficient des paramètres (varie de 1 à 10)

À chacun de ces paramètres correspond un poids (valeur prédéterminée) compris entre 1 et 5, qui traduit l'importance du paramètre dans les processus de transport et l'atténuation des contaminants. Un paramètre prépondérant est affecté d'un poids égal à 5 alors qu'un paramètre ayant moins d'impact sur le devenir d'un contaminant se voit assigner un poids de 1.

Cette méthode propose deux systèmes de pondération suivant les conditions d'occupation du sol comme le montre le tableau suivant : occupation « normal » et par une occupation d'une activité agricole intensive utilisant par exemple des produits phytosanitaires.

Tableau II - 02 : Les valeurs des poids des paramètres de la méthode DRASTIC et DRASTIC Modifié

Symboles	Paramètres	Propriétés	Poids du paramètre	
			DRASTIC	DRASTIC Modifié
D	Profondeur de la nappe	Plus cette profondeur est élevée, plus le contaminant met du temps pour atteindre la surface piézométrique	5	5
R	Recharge Nette	Véhicule principal pour le transport du contaminant. Plus cette recharge est grande, plus le risque de contamination est élevé	4	4
A	Lithologie de l'aquifère	Caractérisée par la granulométrie des terrains saturés. Plus la granulométrie est fine, plus le piégeage du polluant est grand.	3	3
S	Sol	Plus le sol est riche en argile, plus l'absorption des métaux lourds est importante, et plus la protection des eaux souterraines est grande	2	5
T	Topographie	Plus la pente des terrains est grande, plus le ruissellement des eaux est important et par conséquent la contamination des eaux souterraines est faible	1	3
I	Zone non saturée	Son impact est déterminé à partir de la texture des terrains. la percolation du polluant jusqu'à la surface piézométrique est d'autant plus grande que cette texture est favorable (gravier, sable grossiers)	5	4
C	Perméabilité	Plus ce paramètre est grand, plus le transfert du polluant est rapide	3	2

L'indice ainsi calculé représente une indexation du niveau de risque de contamination de l'unité hydrogéologique à laquelle il se rattache. Ce risque augmente avec la valeur de l'indice. Il peut prendre une valeur maximale de 226 et une valeur minimale de 23.

Le degré de vulnérabilité se définit de la façon suivante :

Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode DRASTIC (Engel et al. 1996).

Tableau II – 03 : Degré de vulnérabilité

Indice DRASTIC	Degré de vulnérabilité
< 101	Faible
101 - 140	Moyen
141 - 200	Fort
> 200	Très Fort

II.2.5. Cartographie de la vulnérabilité

Les logiciels SIG ont des fonctionnalités cartographiques, permettant la cartographie thématique selon des représentations standardisées. La méthodologie, utilisée dans ce travail, consiste à appliquer les SIG lié à une base de données pour la nappe. Les informations sémantiques et spatiales, formant les sept paramètres DRASTIC, sont traitées par digitalisation (numérisation) des cartes et élaboration d'une base de données cartographique sous Arc Gis. (Smida & Al, 2010).

La variabilité dans l'espace des critères de la vulnérabilité est caractérisée par le découpage des critères en classes.

Chaque classe étant ensuite affectée d'un index représentatif de son degré de vulnérabilité (note faible pour le moins vulnérables, note élevée pour la plus vulnérable).

Sept cartes rendent compte de la vulnérabilité des nappes vis-à-vis de chaque critères seront réalisée ; découpage des critères en classes y sera représenté et l'indexation des classes sera restitué en utilisant la symbolique de couleur habituelle : couleur chaudes (rouge) pour indiquer le danger donc la forte vulnérabilité et couleur froides (vert-bleu) dans le cas contraires (Rakotovoaka, 2007).

Conclusion

La méthode DRASTIC permet de déterminer le degré de vulnérabilité et le potentiel polluant des eaux souterraines. C'est une méthode paramétrique qui utilise la somme des produits des sept paramètres : profondeur de la nappe, recharge nette, lithologie de la zone saturée, type du sol, topographie (pente), lithologie de la zone non saturée et conductivité hydraulique de l'aquifère.

Dans les SIG, chaque paramètre est noté sur une couche en lui affectant une valeur numérique correspondant à son poids, c'est à dire son influence sur la vulnérabilité de la nappe. Ensuite, ces couches sont superposé sur une couche résultat où sera calculé l'indice DRASTIC, qui est égal à la somme des produits (coefficient * poids) des sept paramètres DRASTIC. La cartographie de l'indice de vulnérabilité repose sur la superposition de ces paramètres.

Introduction

Pour réaliser l’objectif cité précédemment, une méthodologie permettant d’évaluer la vulnérabilité, à partir d’un ensemble d’informations (topographie, réseau des cours d’eau) et de leur traitement numérique, a été employée. Cette méthodologie est présentée sur ce chapitre.

Dans le but de déterminer la vulnérabilité de la nappe alluviale du bas Cheliff, on a utilisé la méthode DRASTIC, associé avec un Système d’Information Géographique (SIG). L’objectif est de démontrer l’apport de l’usage combiné de SIG et modèle DRASTIC comme une méthode efficace pour délimiter les zones à risque de ces aquifères et pour une meilleure gestion des ressources en eau.

III.1. Évaluation des paramètres et calcul des cotes de vulnérabilité.

III.1.1. Données de base

Les données utilisées pour le calcul et la cartographie de paramètre de la méthode DRASTIC sont illustrées dans le tableau.

Tableau III - 1 : Données utilisées pour le calcul de la vulnérabilité

Paramètres	Principales sources d’information
D -Profondeur de l’eau	- Coupes de forages - Compagne piézométrique
R -Recharge efficace	- Etudes hydrogéologiques - Carte pluviométrique de l’Algérie du Nord
A -Matériaux de l’aquifère	- Cartes géologiques (9 feuilles au 1/50000ème et 1 feuille au 1/200000ème) + notices explicatives. - Coupes lithologiques des forages - Etudes géophysiques - Etudes hydrogéologiques
S -Type de sol	- Etudes Agro-Pédologiques du périmètre du bas Cheliff - Etude des sols des plaines du Cheliff -Cartes pédologiques des plaines de Relizane, d’Inkermann (Cartes au 1/50000ème)
T -Topographie	- Cartes des pentes de la région (Cartes SRTM)

I-Impact de la zone non saturée	- Cartes géologiques (9 feuilles au 1/50000ème et 1 feuille au 1/200000ème) + notices explicatives. - Coupes lithologiques des forages - Etudes géophysiques - Etudes hydrogéologiques
C-Perméabilité	- Etudes hydrogéologiques - Essais de pompages - Abaque de Freeze et Cherry, 1970

III.1.2. Méthodologie

Le calcul et la cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe alluviale du Bas Cheliff ont été réalisés par la méthode DRASTIC et DRASTIC modifiée et à l'aide du logiciel ArcGis version 10.3 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. Le calcul des indices de vulnérabilité selon la méthode DRASTIC se fait directement par un calcul d'addition appliqué sur les sept Raster. 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.

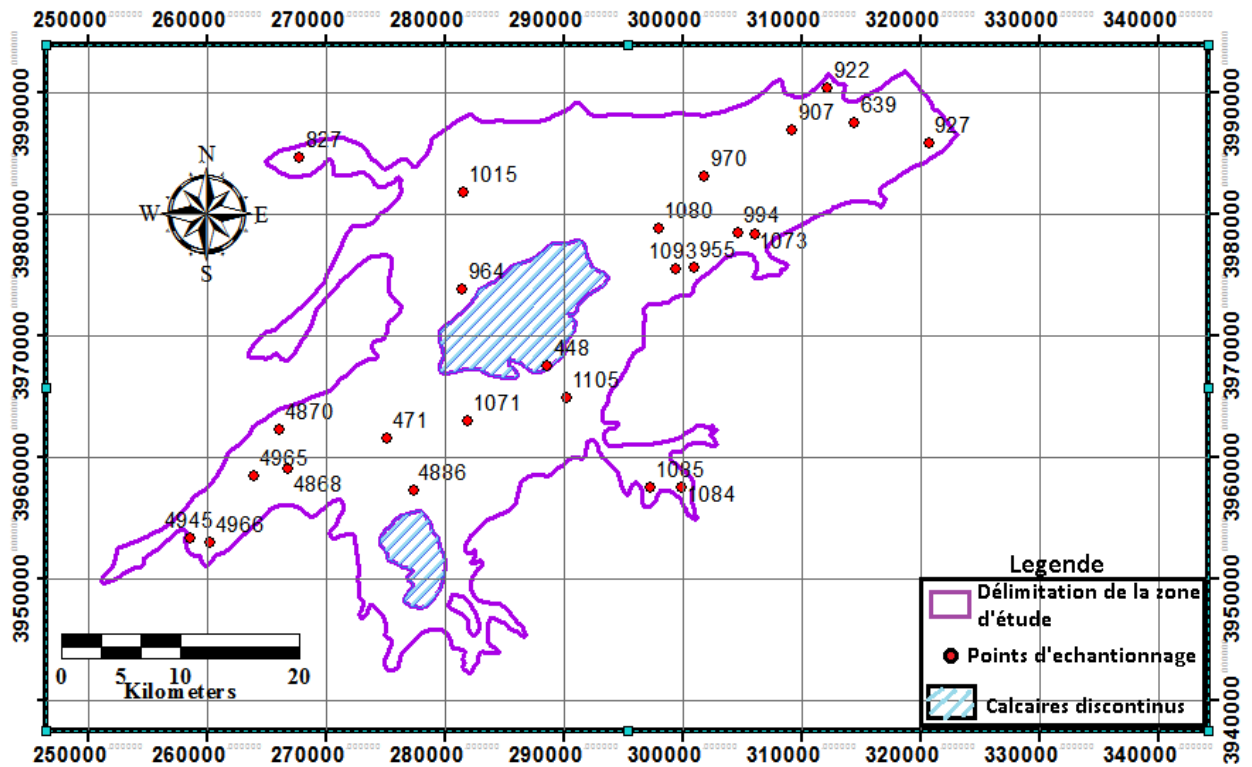


Figure III - 01: Les points d'échantonnage

III.2. Élaboration des cartes des paramètres spécifiques de la vulnérabilité de la nappe

III.2.1. Paramètre de profondeur des eaux souterraines (D)

L'évaluation de ce paramètre a été faite à partir des valeurs relevées directement au niveau des coupes de forages. Ces valeurs ont été classées selon les fourchettes établies dans les tables des systèmes de cotation DRASTIC. En suite La carte de profondeur a été établie par la méthode d'interpolation des valeurs par analyse géostatistique, sous la plateforme Spatial Analyst. Ces résultats montrent que :

On a deux classes pour ce critère : (Figure) :

Classe 1 : 4,5 à 9 m qui représentent un pourcentage de 42,6 % de la région, cette classe occupe la partie Est et Ouest. Pour cette variation on a une cote de 7, donc la multiplication de la cote 7 par le poids 5, on trouve un indice de paramètre (Score) 35.

Classe 2 : supérieur à 30m, cette classe représente 57,3 % de la région, et occupe la partie Nord et Sud, présentant une cote de 1, et un indice de paramètre de 5.

Tableau III - 2: Classification spécifiques (Cotes, et poids) à la région d'étude pour le paramètre « D » selon la méthode DRASTIC et DRASTIC modifié

Profondeur de l'eau	DRASTIC et DRASTIC Modifié				Remarque
	Superficie %	Cote : D_R	Poids : D_W	Indice : $D_R \times D_W$	
4,5 - 9	42,6	7	5	35	Pour ce critère il n'y a pas de différence entre le poids des deux méthodes à évaluer
> 30	57,3	1		5	

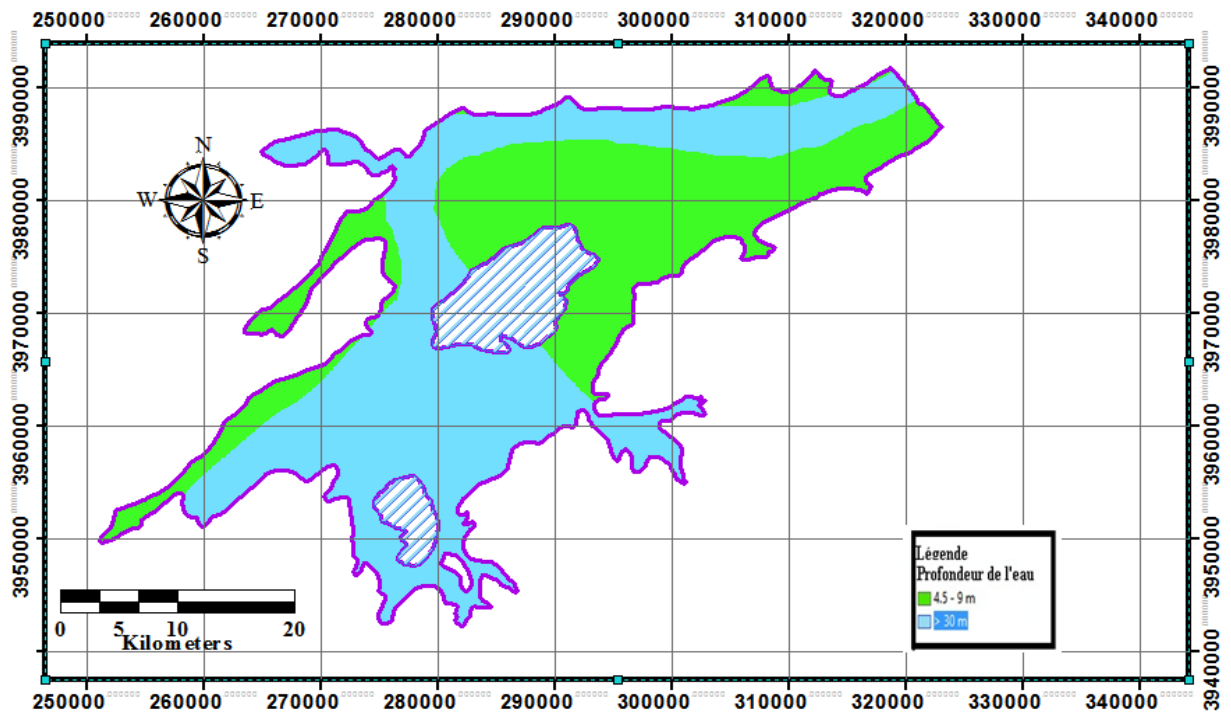


Figure III - 02: Répartition spatiale de profondeur d'eau de la région

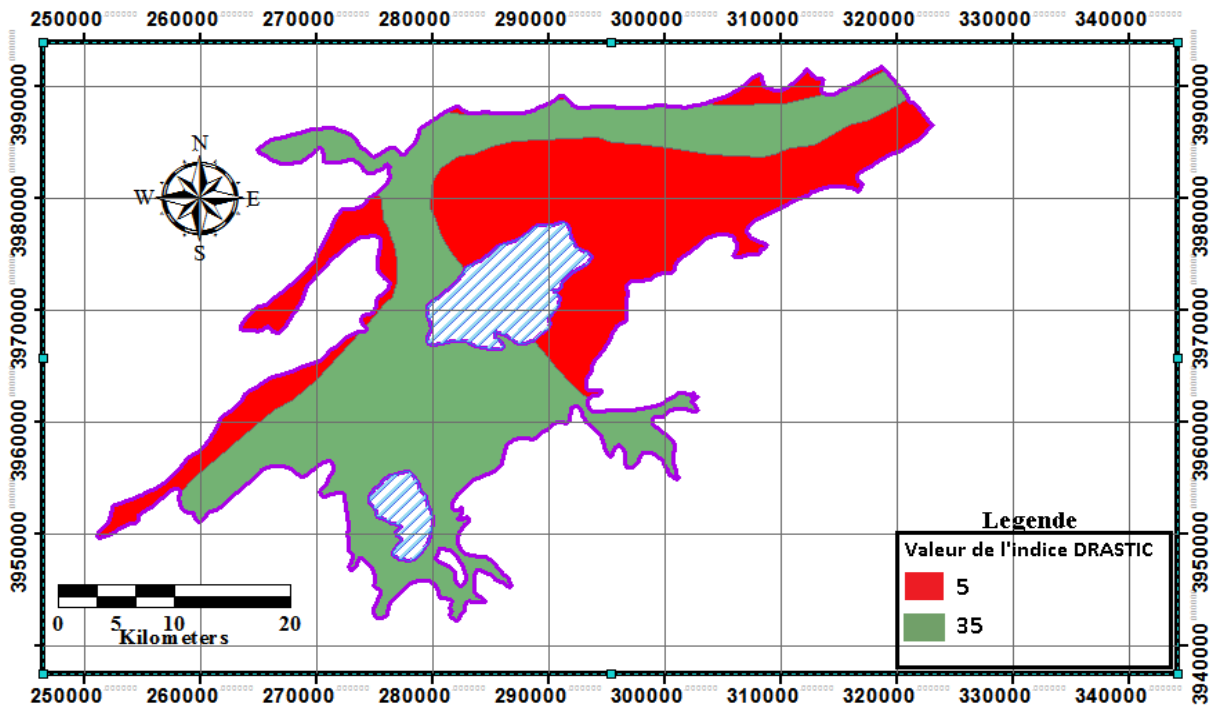


Figure III- 03: Répartition spatiale de profondeur de l'eau assignée à leur cote et poids

III.2.2. Paramètre de recharge efficace (nette) de l'aquifère (R)

L'évaluation de la recharge efficace des nappes est souvent très difficile à réaliser sans études hydrogéologiques et hydrologiques préalables. Pour la nappe étudiée, ce paramètre a été essentiellement déduit à partir des résultats des équations de bilans.

Il a déduit que la recharge nette de la nappe dépend de :

- L'infiltration directe à partir des eaux de pluie (Bilan Thornthwaite)
- L'alimentation continue et normale des oueds, en périodes de crues ou décrues (relation oueds – nappes)

Ces résultats ont données :

a) La région représentant le lit majeur de l'oued où la recharge de la nappe est supérieur à 25 cm/an (AchiteBouabia et al), cette partie de la nappe est la plus alimentée car elle reçoit en plus de l'eau de pluie, des eaux d'alimentation continue à partir des oueds avec leurs variations en périodes de crues.

b) La région englobant le reste de la surface de la nappe où la recharge oscille entre 10.2 et 11 cm/an.

Selon la cotation DRASTIC, la variation spatiale de la recharge présente deux classes :

Classe 1 : 100 à 110 mm/an occupant presque toute la plaine 79,7% de la superficie ; avec une cote de 6 et un indice 24.

Classe 2 : Supérieur à 250 mm/an occupé 20,2% de la région par une cote de 9 avec un indice de 36.

Tableau III – 3 : Classification spécifiques (Cotes, et poids) à la région d'étude pour le paramètre « R » selon la méthode DRASTIC et DRASTIC modifié

Recharge (mm/an)	Superficie %	DRASTIC et DRASTIC Modifié			Remarque
		Cote : D _R	Poids : D _W	Indice : D _R x D _W	
100 – 110	79,7	6	4	24	Pour ce critère il n'y a pas de différence entre le poids des deux méthodes à évaluer
> 250	20,2	9		36	

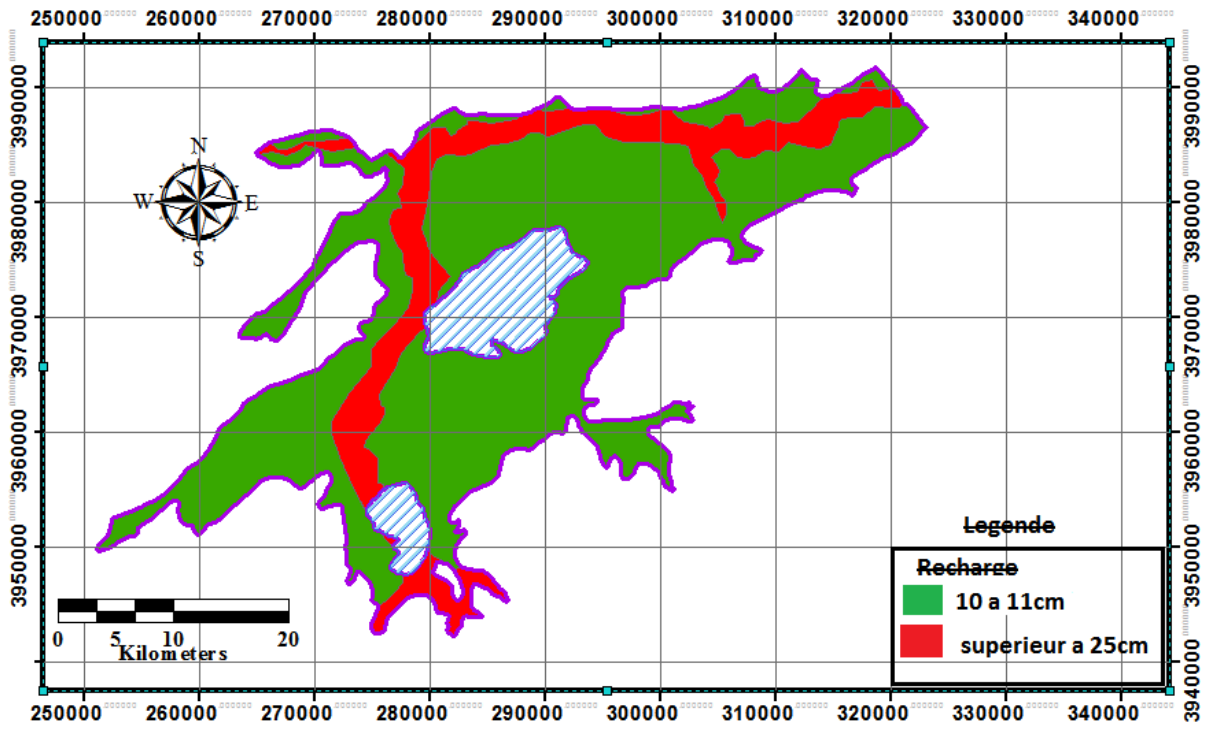


Figure III - 04 : Répartition spatiale de la recharge de la région

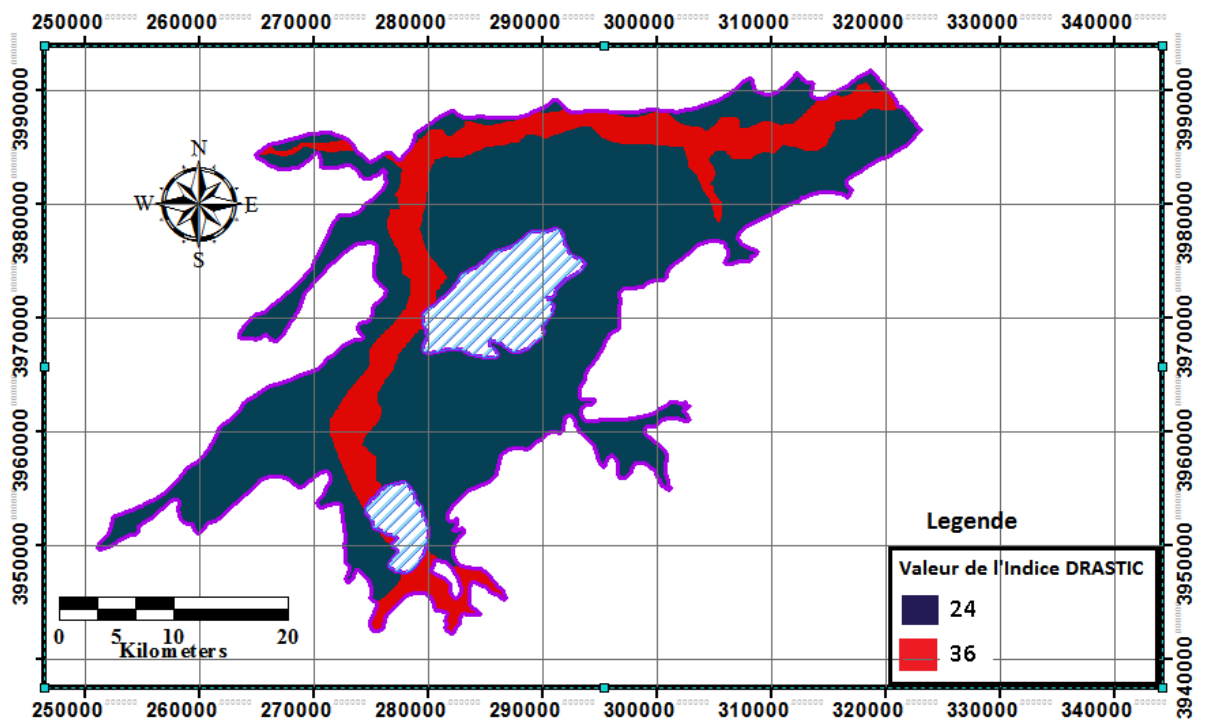


Figure III - 05 : Répartition spatiale de la recharge de la région assignée à leur cote et poids

III.2.3. Paramètre des matériaux de l'aquifère (A)

La description du matériel constituant les zones saturées et non saturées de l'aquifère du bas Cheliff a été réalisée sur une base descriptive d'une centaine de coupes de forages qui captent cet aquifère.

Les matériaux lithologiques constituant la nappe sont essentiellement des Graviers, Galets avec peu de Gravier et des Grès + Calcaires, les cotes correspondant pour chaque type lithologique ont été reporté en 3 classes, 4 pour les Galets, 6 pour les Grès e Calcaires et 9 pour les graviers.

Tableau III – 4 : Classification spécifiques (Cotes, et poids) à la région d'étude pour le paramètre « A » selon la méthode DRASTIC e DRASTIC modifié

Type de matériaux de l'aquifère	Superficie %	DRASTIC et DRASTIC Modifié			Remarque
		Cote : D _R	Poids : D _W	Indice : D _R x D _W	
Galets avec peu de gravier	63,9	9	3	27	Pour ce critère il n'y a pas de différence entre le poids des deux méthodes à évaluer
Grès et Calcaire	32,9	4		12	
Graviers	3,09	6		18	

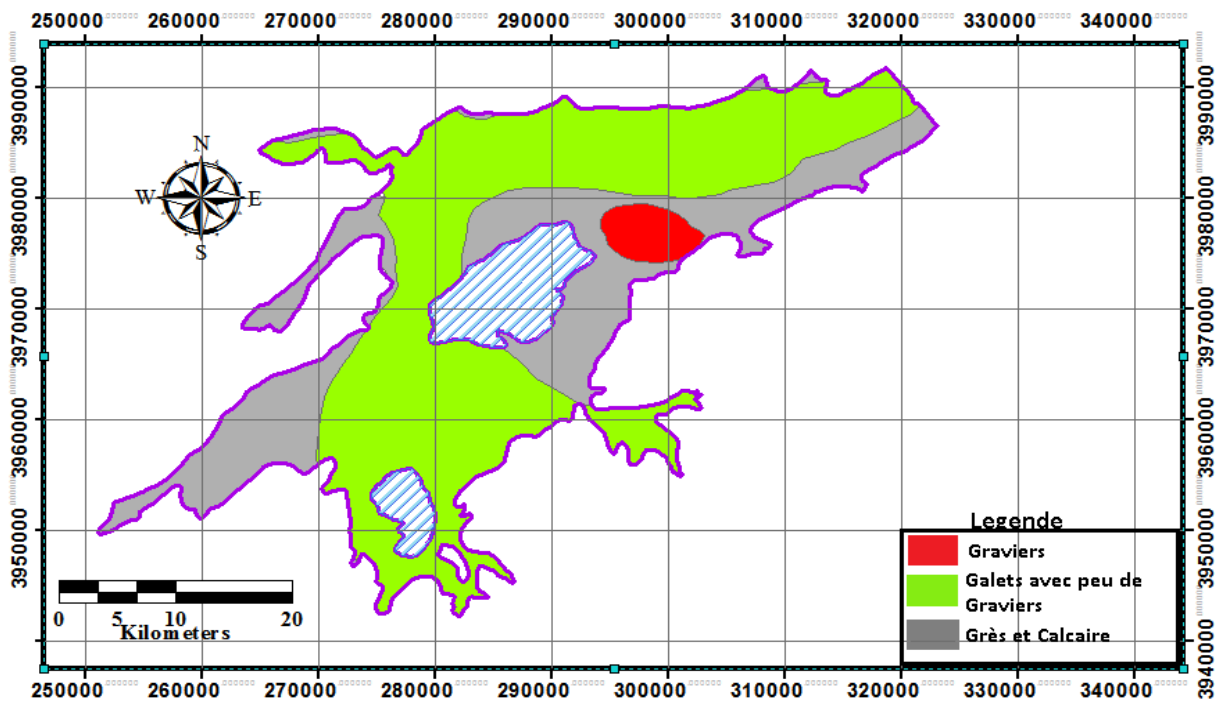


Figure III - 06 : Répartition spatiale de matériaux d'aquifère de la région

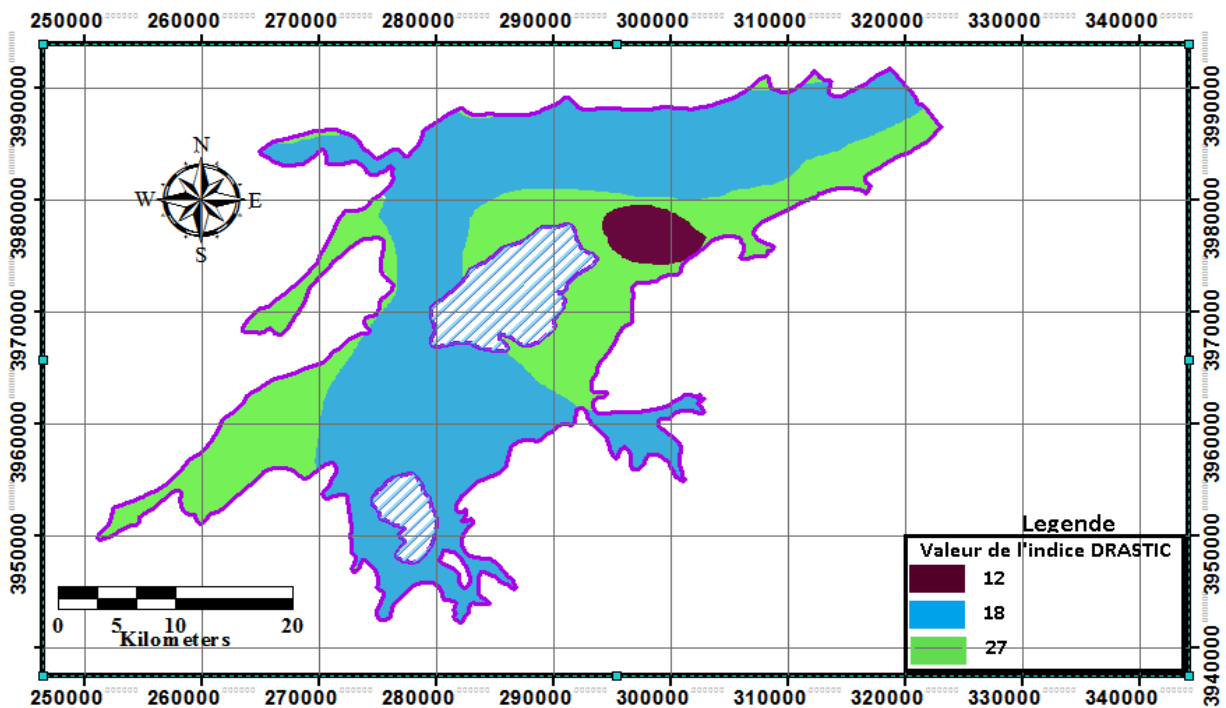


Figure III - 07 : Répartition spatiale de matériaux d'aquifère de la région

III.2.4. Paramètre de type de sol (S)

La description du sol constituant la plaine du bas a été réalisée à partir des cartes de sol établies par J.BOULAIN en 1955.

Ces cartes font ressortir plusieurs classes ou types de sols :

- Classe des sols alluviaux non évolués : ce sont des sols légers à sables fins et limons plus ou moins sableux, riches, profonds, très perméables ; on les trouve au niveau du lit majeur et des bourrelets des oueds.
- Classe des sols engorgés par l'eau (Hydromorphes) : ce sont des sols argileux à très argileux assez humifères.
- Classe des sols calciques : formés sur une carapace calcaire, ils sont peu épais, pauvres, légers à moyens ; ce sont des sols limoneux à limono - sableux.
- Classe des sols alluviaux évolués : sols moyens à lourds, limons et limons argileux en surface et parfois plus sableux en profondeur, ce sont des sols riches et profonds assez perméables.
- Classe des sols colluviaux et sols alluviaux des affluents mineurs : proviennent des massifs calcaires, gréseux ou bien marneux, ce sont des sols légers à moyens, sables grossiers à sables limoneux perméables.
- Classe des sols salés : à horizon de surface à structure micropolyédrique pendant la saison sèche, sols argileux à très argileux et très salés en surface.
- Classe des sols très évolués : ce sont des sols partiellement décalcifiés à accumulation progressive ou brusque de calcaires.
- Classe des sols dunaires : de la bordure nord de l'auréole de la sebkha de Benziane, ce sont des sols peu évolués formés sur des sables dont l'origine n'est pas connue.

L'utilisation des tables de cotation DRASTIC permet de classer les sols en fonction de leur nature texturale et d'attribuer à chaque type le poids et la cote correspondante.

Ainsi quatre zones pédologiques ont été identifiées, et on constate alors la diversité des sols qui sont répartis sur toute la plaine étudiée

Un sol limoneux avec une cote de 5, un sol limono-argileux avec une cote de 3, un sol argileux fissurées de cote 7, et un sol sableux avec une cote de 9.

Tableau III – 5 : Classification spécifiques (Cotes, et poids) à la région d'étude pour le paramètre « S » selon la méthode DRASTIC et DRASTIC modifié

Type de sol	DRASTIC et DRASTIC Modifié					
	Superficie %	Cote : D_R	Poids : D_W	Poids de pondération D_w	Indice : $D_R \times D_W$	Indice : $D_r \times D_w$
Limoneux	39,5	5	2	5	10	25
Limono-argileux	9,8	3			6	15
Argileux fissurées	5,05	7			14	35
Sableux	45,5	9			18	45

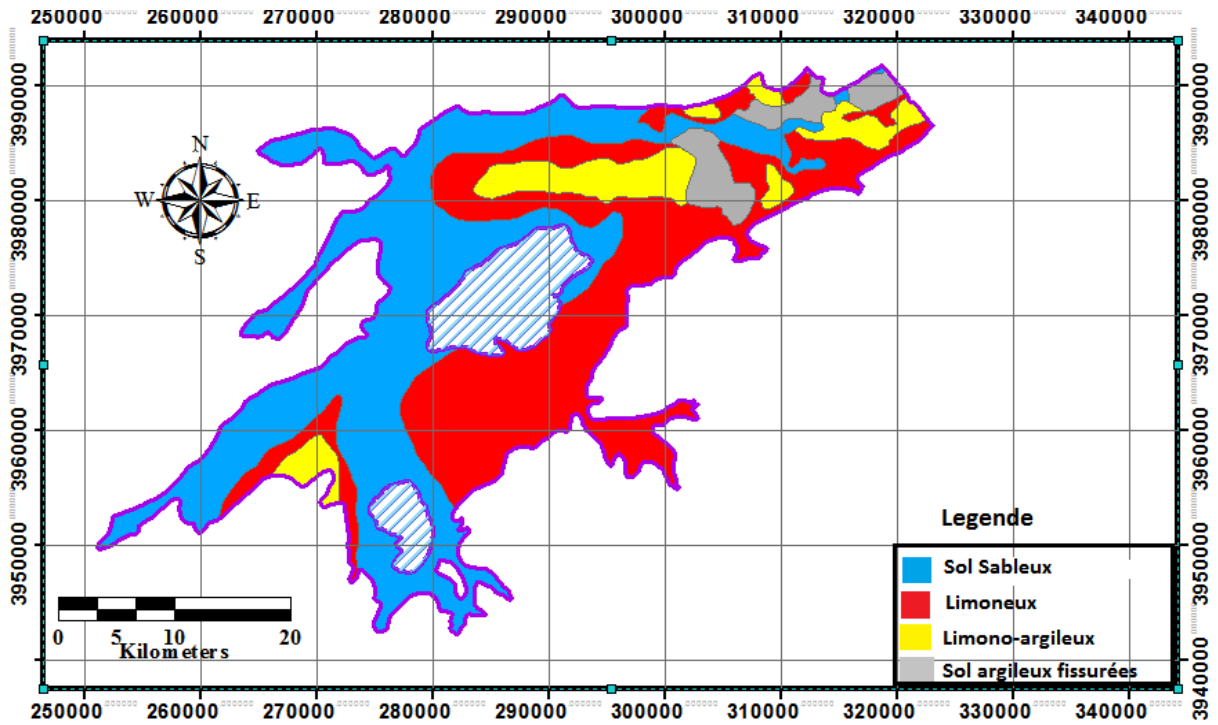


Figure III - 08 : Répartition spatiale du type de sol de la région

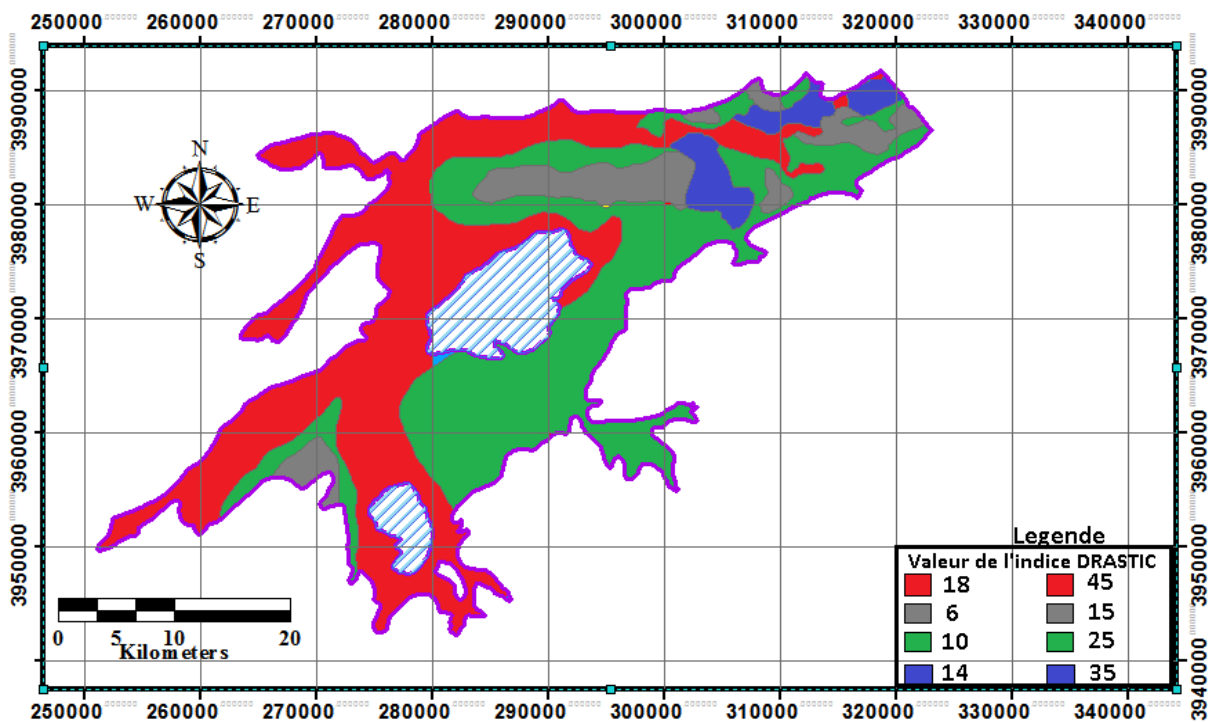


Figure III - 09 : Répartition spatiale du type de sol de la région assignée à leur cote et poids

III.2.5. Paramètre Topographie (pente) (T)

La carte des pentes de la plaine du bas Cheliff a été établie sur la base des cartes SRTM vérifiée et comparé par les cartes topographiques.

Une seule classe de pente a été déduite, car la plaine du bas Cheliff ne représente pas de grands dénivelés, la pente varie entre 0 à 2, correspondant à une cote de 10 avec un poids de 1 pour DRASTIC et un poids de 3 pour la DRASTIC modifié.

Tableau III – 6 : Classification spécifiques (Cotes, et poids) à la région d'étude pour le paramètre « T » selon la méthode DRASTIC et DRASTIC modifié

Pente %	DRASTIC et DRASTIC Modifié					
	Superficie %	Cote : D_R	Poids : D_W	Poids de pondération D_w	Indice : $D_R \times D_w$	Indice : $D_T \times D_w$
0 - 2	100	10	1	3	10	30

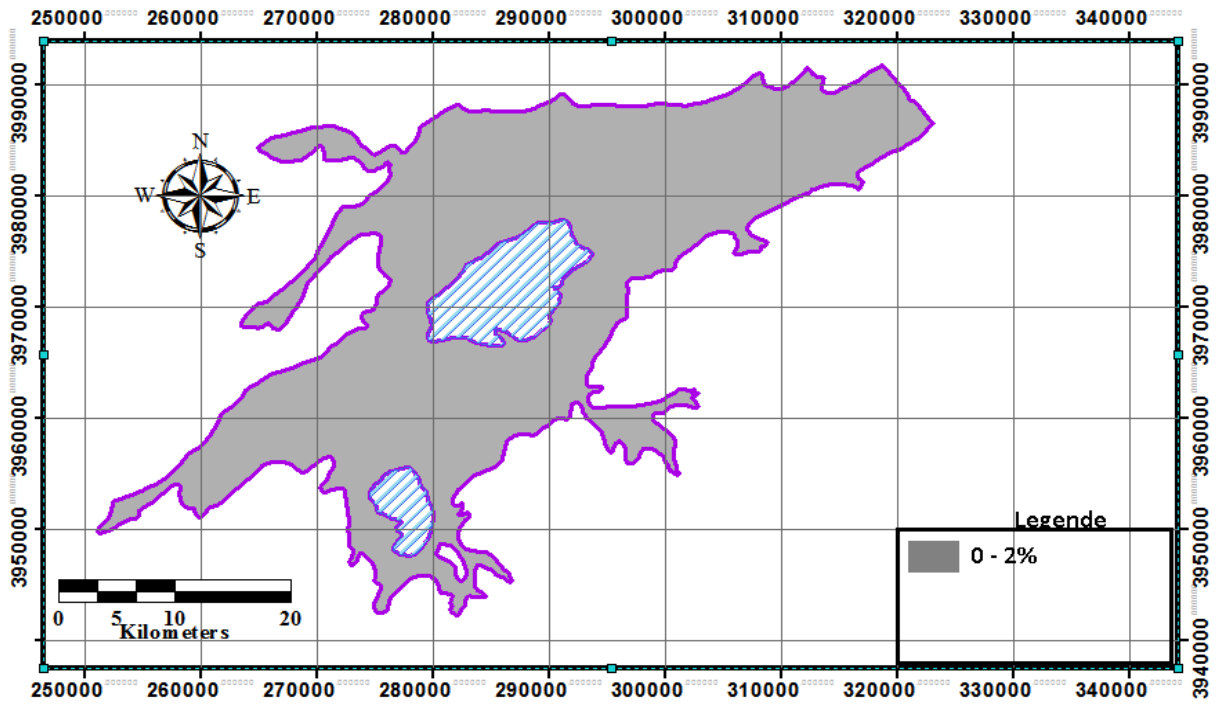


Figure III - 10 : Répartition spatiale de pente de la région

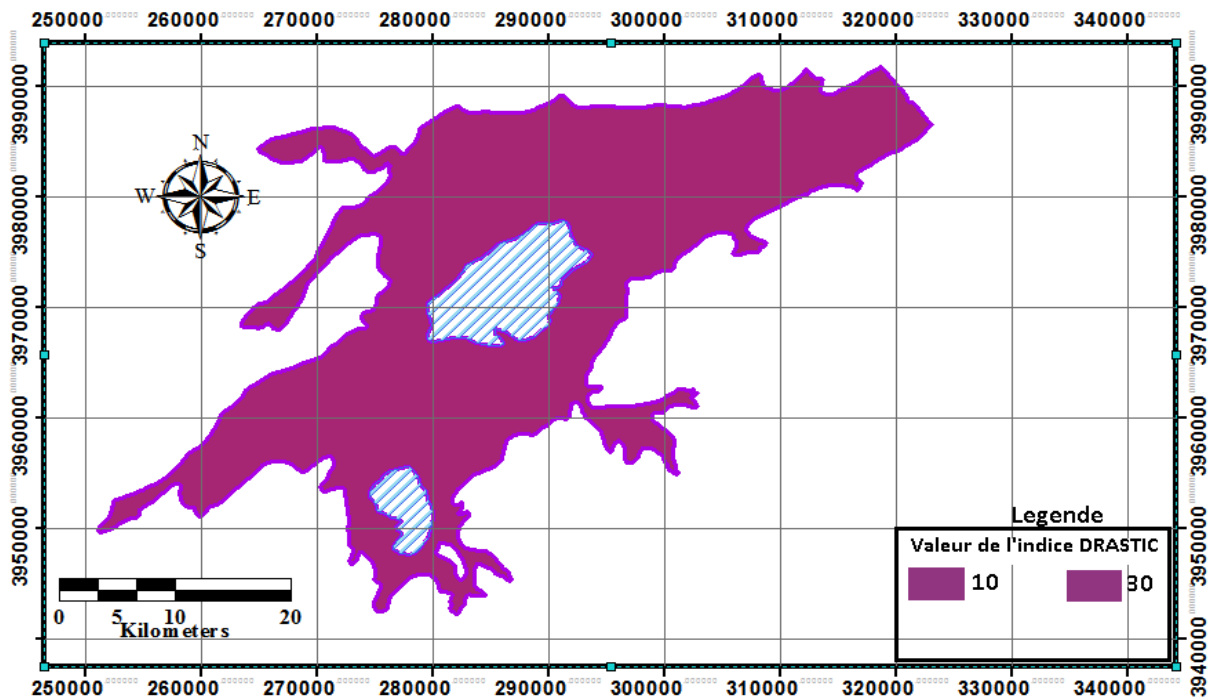


Figure III - 11 : Répartition spatiale de pente de la région assignée à leur cote et poids

III.2.6. Paramètre de la zone non saturée (impact de la zone vadose) (I)

On rencontre 3 classes pour ce paramètre :

Classe 1 : Argilo-sableux correspondant a 27% de la région et jouant un rôle important pour la migration des polluants.

Classe 2 : Limon et Argile qui assurant la protection de la nappe occupant 62% de la superficie de la région.

Classe 3 : Sable et gravier avec silt et argile, correspondant à 9,7% de la région.

Tableau III – 7: Classification spécifiques (Cotes, et poids) à la région d'étude pour le paramètre « I » selon la méthode DRASTIC et DRASTIC modifié

Type de sol	DRASTIC et DRASTIC Modifié					
	Superficie %	Cote : D _R	Poids : D _W	Poids de pondération D _w	Indice : D _R x D _W	Indice : D _r x D _w
Argilo-sableux	27,5	2	5	4	10	8
Limon et argile	62,5	1			5	4
Sable et gravier avec silt et argile	9,7	6			30	24

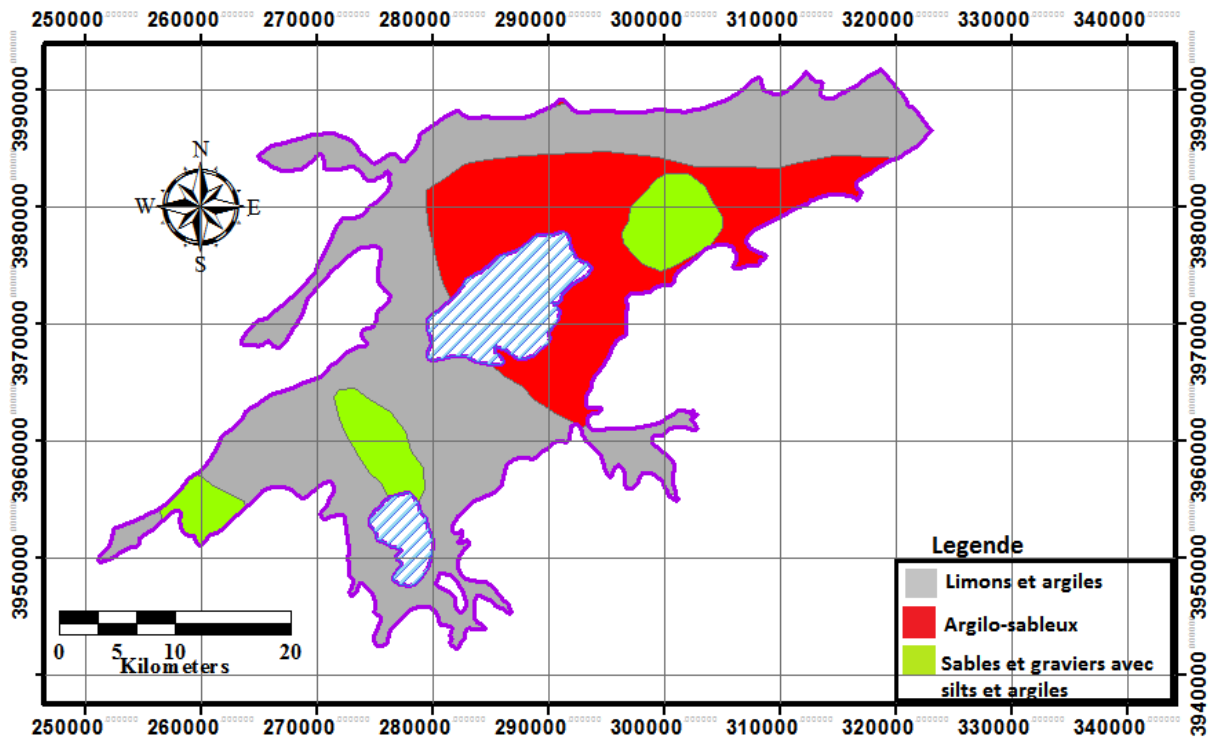


Figure III - 12 : Répartition spatiale de la zone non saturé de la région

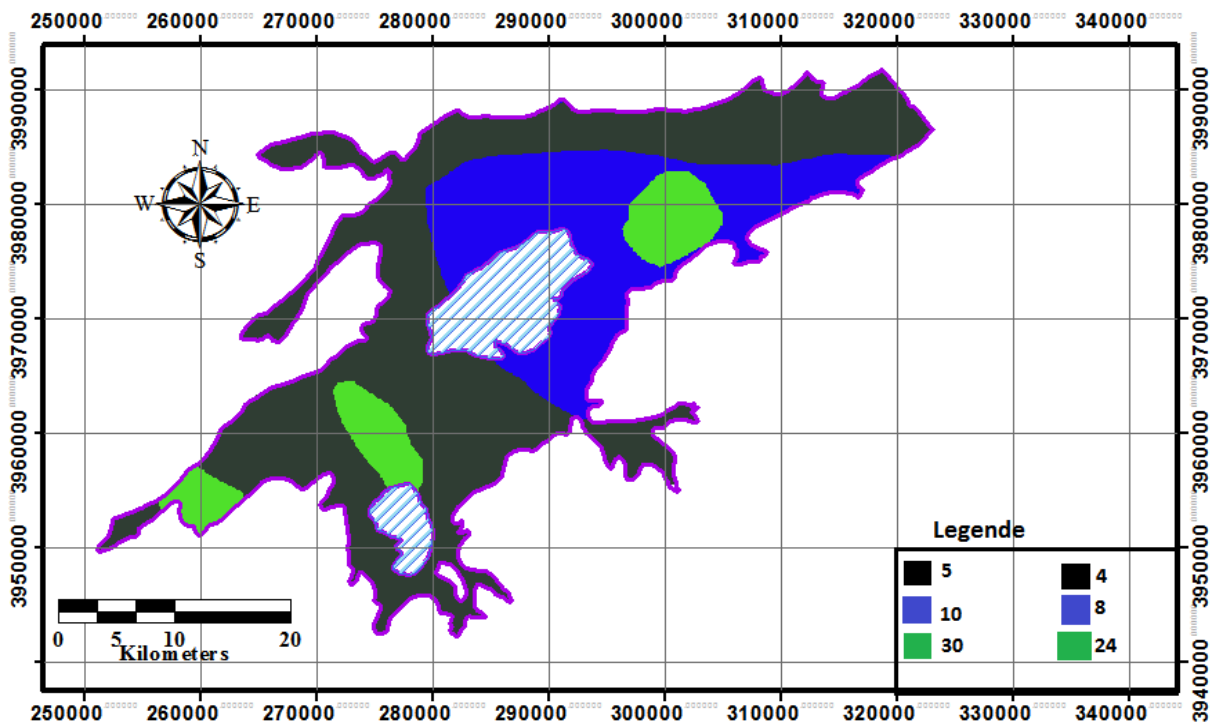


Figure III - 13 : Répartition spatiale de la zone non saturé de la région assignée à leur cote et poids

III.3.7. Paramètre de conductivité hydraulique (perméabilité de l'aquifère) (C)

Ce paramètre n'a pas pu être évalué à partir de l'interprétation des essais de pompages. Peu nombreux ou mal effectués ces essais se sont révélés peu fiables. Toutefois, afin de corriger d'éventuelles erreurs commises lors de ces interprétations et pour pouvoir faire une extrapolation à toute la zone d'étude nous avons eu recours aux abaques d'estimation de la perméabilité basés sur la nature lithologique des aquifères (Abaque de Freeze et Cherry, 1979).

Les valeurs moyennes ainsi déterminées pour la région étudiée permettent d'utiliser les tables de cotation DRASTIC pour faire ressortir les différentes zones caractérisées chacune par un indice partiel I_C . La variation de la conductivité hydraulique de la nappe permet de distinguer deux classes qui sont présentées sur le tableau.

Tableau III- 8 : Classification spécifique (Cotes, et poids) à la région d'étude pour le paramètre «C » selon la méthode DRASTIC et DRASTIC modifié

K (m/s)	DRASTIC et DRASTIC Modifié					
	Superficie %	Cote : D_R	Poids : D_w	Poids de pondération D_w	Indice : D_R x D_w	Indice : D_r x D_w
$4,7.10^{-7} - 4,5.10^{-5}$	48	1	3	2	3	2
$>9,4.10^{-4}$	52	10			30	20

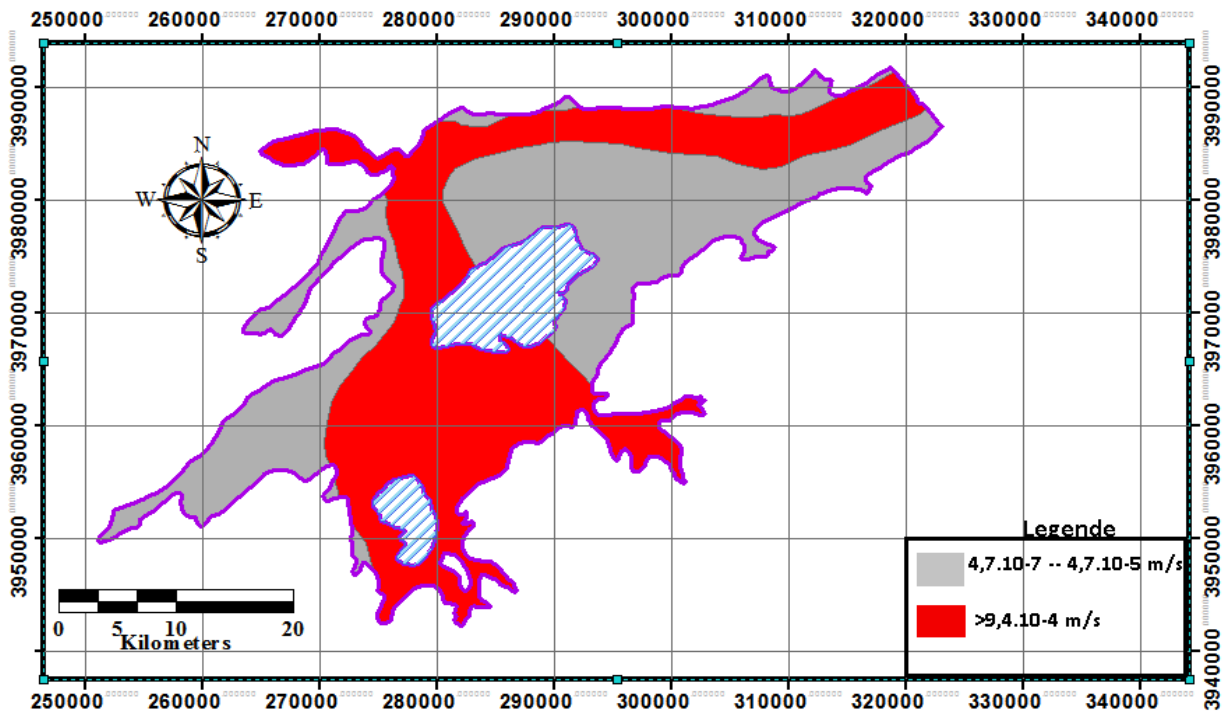


Figure III - 14 : Répartition spatiale de la conductivité hydraulique de la région

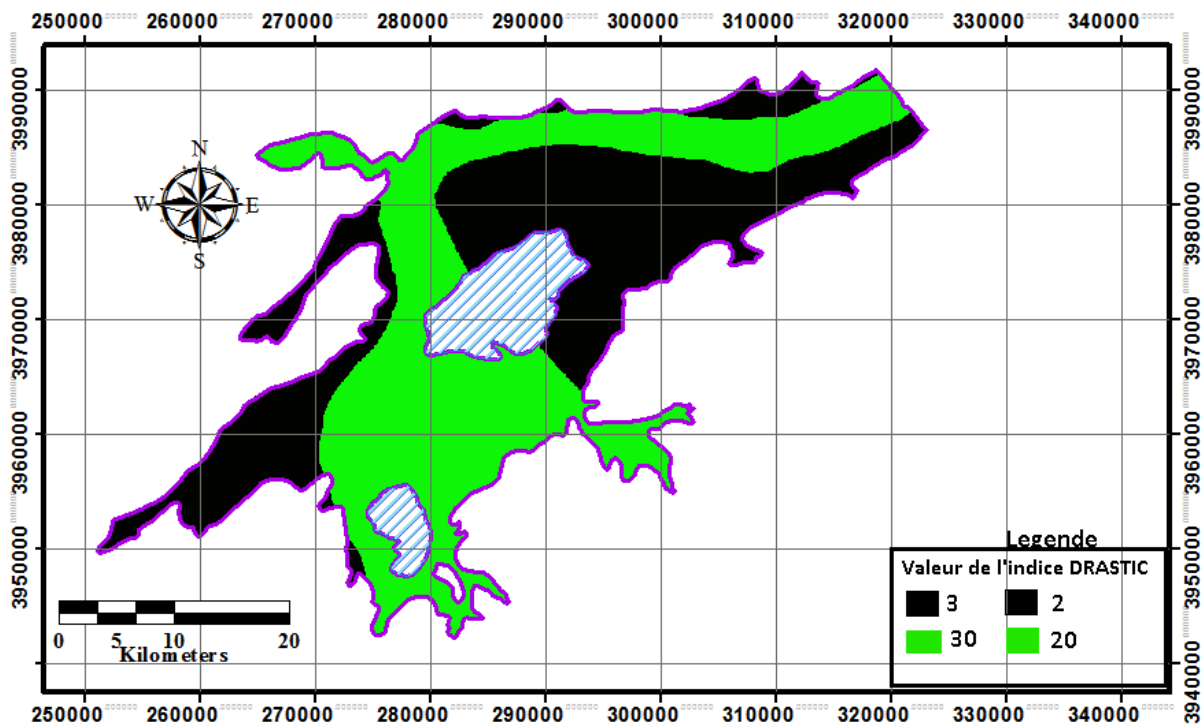


Figure III - 15 : Répartition spatiale de la conductivité hydraulique de la région

III.3. Cartographie de la vulnérabilité de la nappe alluviale du bas Cheliff

A l'aide du calcul de l'indice de vulnérabilité qui intègre les sept paramètres (chapitre I), on a élaboré la carte de vulnérabilité. Les indices DRASTIC obtenus varient de 65 – 166 pour la méthode DRASTIC et de 83 – 164 pour la méthode DRASTIC modifié, à partir de ces indices obtenus on a les suivantes plages de vulnérabilité :

Tableau III – 9 : Classification des plages de vulnérabilité de la plaine du bas Cheliff

DRASTIC	DRASTIC modifié
$I_{DRASTIC} = [65 - 100] \rightarrow$ Classe faible	$I_{DRASTIC} = [83 - 100] \rightarrow$ Classe faible
$I_{DRASTIC} = [101 - 145] \rightarrow$ Classe moyenne	$I_{DRASTIC} = [101 - 145] \rightarrow$ Classe moyenne
$I_{DRASTIC} = [146 - 166] \rightarrow$ Classe élevée	$I_{DRASTIC} = [146 - 164] \rightarrow$ Classe élevée

Avec cette classification, on a obtenu la carte de vulnérabilité à la pollution de la nappe (figure III – 16 et 17). Trois degrés de vulnérabilité à la pollution ont été mis en évidence sur ces cartes.

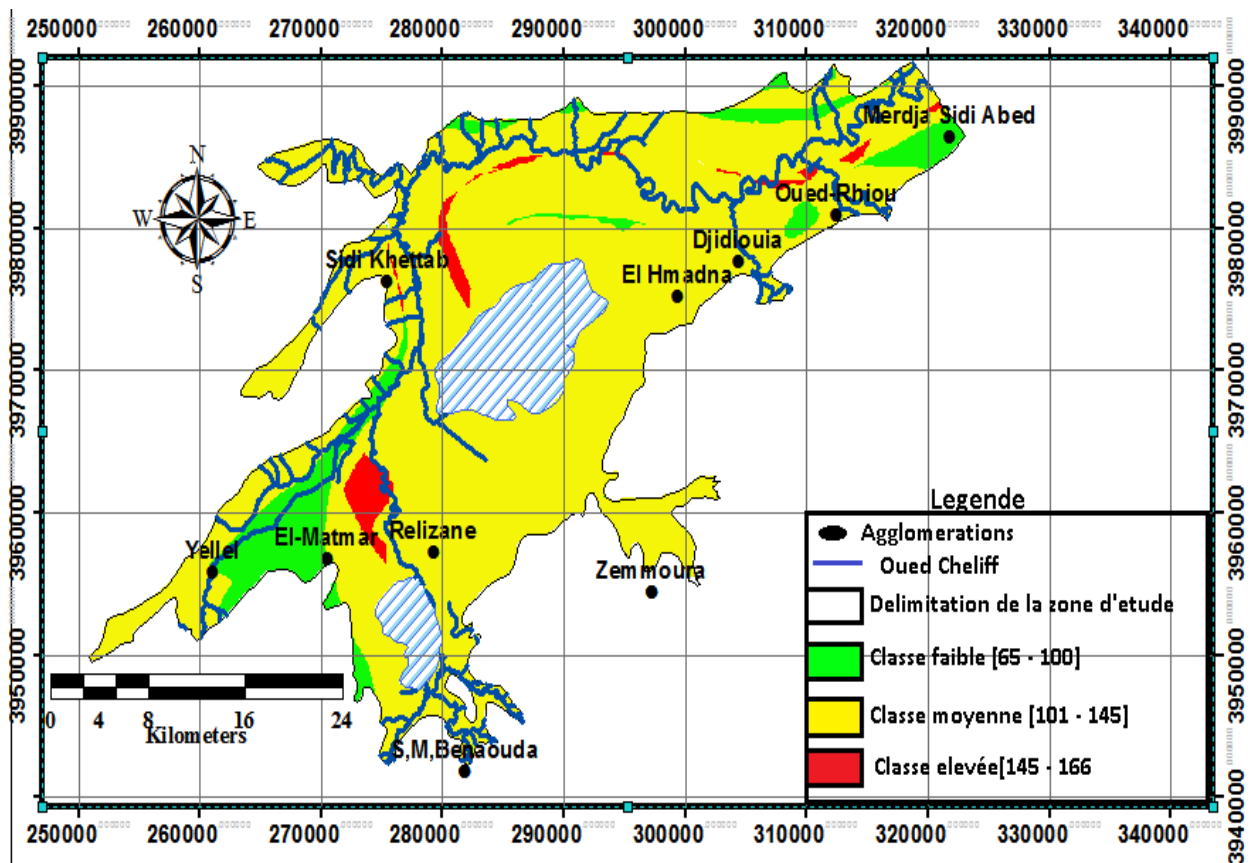


Figure III - 16 : Carte de la vulnérabilité de la nappe alluviale du bas Cheliff

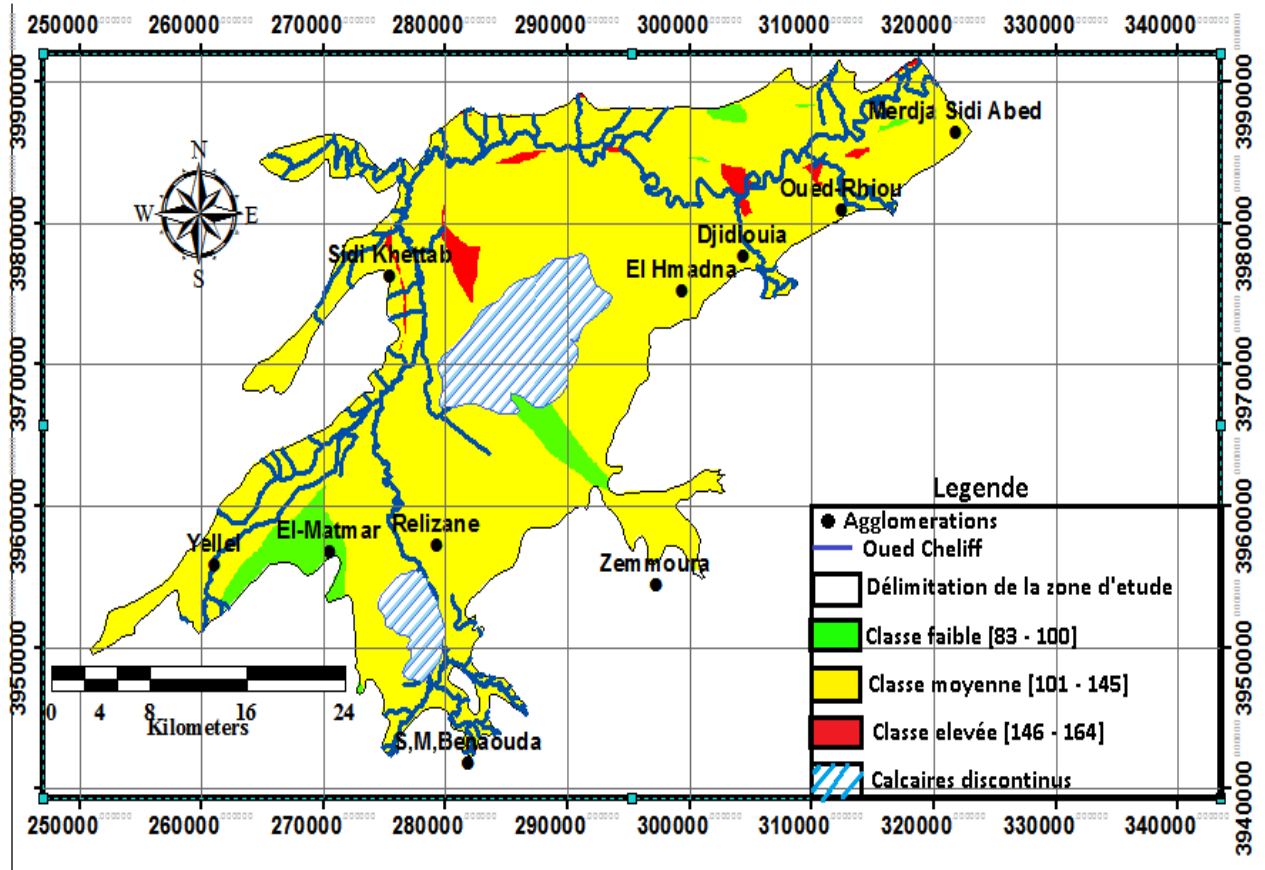


Figure III - 17 : Carte de la vulnérabilité de la nappe alluviale du bas Cheliff

Classe faible : Occupant un petit pourcentage sur la superficie de notre carte, ce degré de vulnérabilité peut s’expliquer par le fait que la profondeur soit > 30 m, permettant ainsi au contaminant de prendre beaucoup de temps avant d’attendre la nappe. Les sols Limoneux et Argilo-limoneux favorisent certains processus physico-chimiques tel que l’absorption, plus le sol est riche en Argile, plus l’absorption des polluants est importante, et plus la protection des eaux souterraines est grande. La zone vadose contenant des Limons et Argiles retarde la percolation du polluant vers la surface piézométrique. Cette classe est située sur le secteur Nord et Sud - Est de la nappe (El Matmar).

Classe moyenne : Elle représente presque la totalité de la plaine, ce degré de vulnérabilité peut s'expliquer par le fait du fort taux de recharge, permettant au contaminant de mieux se solubiliser et atteindre la nappe en plus grande quantité, on a des sols sableux, argileux fissuré, et limoneux qui peuvent réduire, retarder ou accélérer le processus de propagation de polluant vers l'aquifère. Plus l'aquifère est composé de matériel grossier donc perméables (galets avec gravier et grès et calcaire), plus l'indice de vulnérabilité est élevée, la profondeur a un rôle primordial car qu'elle permet de représenter de façon indirecte le temps de propagation verticale d'un polluant dans la zone non saturée vers l'aquifère.

Classe élevée : Correspondant à une petite région sur la plaine, on peut l'expliquer par le fait que la zone vadose correspondant à des Sables et Gravier (matériaux grossier et perméables) permettent la migration rapide de l'eau (contaminant), la proximité de la nappe près de la surface du sol dans les zones alluvionnaires et les cours d'eau, la recharge provenant principalement des précipitations efficaces qui s'infiltrent, ainsi plus la hauteur de la lame d'eau est grande, plus la vulnérabilité est forte, la recharge dans cette zone est supérieur à 250mm.

NB : En comparant les deux cartes de vulnérabilité, on peut très clairement voir un petit changement de l'indice de vulnérabilité pour les classes faibles et élevées, alors que les valeurs de indice sont resté les mêmes pour la classe moyenne. Ce n'est pas seulement les indices de vulnérabilité qui changent, mais aussi la surface représentant ces classes.

Une nouvelle approche développée par le Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec en 1995 (Anonyme, 2007) consiste à diviser en trois catégories l'échelle de vulnérabilité hydrogéologique (0 à 100 %).

Tableau III – 10 : Echelle de vulnérabilité hydrogéologique

	Indices de vulnérabilité en %	Conclusion
Catégorie 1	0 à 35%	Assurément bien protégé
Catégorie 2	Compris entre 35 et 75%	Protection hydrogéologique incertaine
Catégorie 3	75 à 100%	Assurément vulnérable

En se basant sur cette classification on peut dire, que les classes moyennes et élevée sont classées sur la catégorie 2, indiquant une protection hydrogéologique incertaine qui peut être due au taux de recharge de la nappe, qui traduit une faible perméabilité, ainsi que les matériaux lithologiques constituant la nappe sont essentiellement des Gravier, Galets avec peu de Gravier et des Grès + Calcaires. La classe faible correspond à la catégorie 1→Assurément bien protégé.

Conclusion

Les différents points abordés le long de ce chapitre ont fait état de la vulnérabilité à pollution de la nappe alluviale du bas Cheliff. Notre approche a permis de déterminer et classer les zones de vulnérabilité, qui montrent, que la quasi-totalité de la nappe présente une classe de vulnérabilité moyenne et que des mesures doivent être prises pour le mettre à l'abri de la contamination par des polluants qui pourront exister à la surface de la zone. Ces cartes de vulnérabilité ont ainsi vocation à devenir un véritable outil d'aide à la gestion et à la surveillance de la ressource en eau souterraines.

Notre étude qui a été basé sur la nappe alluviale du bas cheliff, situé au Nord de l'Algérie a permis de conclure que :

La plaine du Bas Chéiff est un synclinal, traversé par le lit de l'oued Cheliff, comblé par des sédiments d'âge Quaternaire, la plaine est encadrée au Nord et au Sud par des piémonts du Dahra et de l'Ouarsenis de l'âge Miocène et Pliocène (Tertiaire)

La zone comprend deux ensembles lithostratigraphiques :

- Les formations néogènes et quaternaires
- Les formations anténéogènes

Les principaux aquifères du Bas-Chéiff sont :

- Le Miocène calcaire
- Le Pliocène marin (argile et marne)
- Le Quaternaire - Pliocène continental (argile, marnes, lits des sables, conglomérats)

La carte de vulnérabilité de la nappe du bas Cheliff réalisé à partir de la méthode DRASTIC a révélé une grande tendance de la vulnérabilité de nappe de la région.

Trois classes de vulnérabilité ont été mise en évidence (faible, moyenne, et élevée), avec des variations des indices DRASTIC de [65-100] pour la classe faible, [100-145] pour la classe moyenne, et [146-166] pour la classe élevée. La classe, la plus dominante est la classe moyenne, que représente quasi la totalité de la plaine et correspond à une protection hydrogéologique incertain des eaux souterraines en considérant l'échelle de vulnérabilité hydrogéologique. La classe faible correspond à l'échelle de vulnérabilité hydrogéologique comme assurément bien protégé.

La connaissance territoriale de l'enjeu plus ou moins fort que constituent les nappes souterraines est un élément important en termes d'aménagement du territoire et de gestion des eaux. Au-delà des constats de bonne ou mauvais qualité des eaux souterraines, il est nécessaire d'appréhender leur vulnérabilité en termes de sensibilité à la pollution, pour comprendre et remédier à des situations passées, mais aussi prévenir des situations futures.

RECOMMANDATIONS :

- Validation de la carte de vulnérabilité par des analyses bactériologiques
- Contrôle et suivi de la nappe (compagne piézométrique)

Références bibliographiques

BEZELGUES.S., DES.GARETS.E., MARDHEL.V., DORFLIGER.N., 2002, Cartographie de la vulnérabilité des nappes de Grande-Terre et de Marie-Galante – Guadeloupe.

CASTANY G, 1982 - Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Ed.Dunod Université Bordas, Paris, 238p.

CHAOUI W. (2007). Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux superficielles et souterraines de la région de Boucheouf. Université de Badjimokhtar, Algérie, article 6p.

Gourdol.L, Bezelgues.S, Mardhel. V, Schomburgk.S, Gravier. A, 2004. Cartographie de la vulnérabilité des nappes de Grande-terre et de Marie-Galante-Guadeloupe phase2. RP-52677-FR

Gravier A., Koch-Mathian J-Y, Mardhel V. et Nowak C., 2006 - Croisement des données des sites BASOL avec la vulnérabilité simplifiée des nappes.

M. Mohamed Sinan; Mlle. NajouaBouibrine (2007): Utilisation des SIG pour la comparaison des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité des nappes à la pollution.

Machard de Gramont H., Mardhel V., Pointet T., Schomburgk S., en collaboration avec **Caous J-Y., Caudron M., Corbier P., David-Rouxel E., Equilbey E., Ghyselinc M., Jauffret D., Maget Ph., Marchais E.**, 2003 - Etude de sensibilité aux remontées de nappes.

Mardhel V. 2006. Carte de vulnérabilité intrinsèque simplifiée des eaux souterraines de la région Aquitaine. BRGM/RP-55311 FR

Mokhtari Djamel Eddine (2009) ; Apport de la télédétection dans l'évaluation de la dégradation des états de surface en milieu salin (Le Bas-Chéouf).

SAIM (2012/2013) :Essai d'analyse statistique et variation spatiale des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la plaine alluviale du bas Cheliff

SalhiNassira (2010) : Exploration des indicateurs de la qualité des eaux d'irrigation dans la plaine du Bas-Chéouf

Vernoux J.F, Wulleumier. A, Seguin. J.J, Dorfliger. N, Martin A, 2007. Méthodologie de délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses.

Vernoux.J.F., Wulleumier.A., Seguin.J.J., Dorfliger.N., Martin.A., 2007 - Méthodologie de délimitation des bassins d'alimentation des captages et de leur vulnérabilité vis-à-vis des pollutions diffuses.

Zaporozec A., and Vrba J., 1994 – Classification and review of groundwater and vulnerability maps. *In Vrba and Zaporozec (Editors), Guidebook on mapping Groundwater vulnerability*. IAH, Verlag Heinz Heise, Hannover, pp.21-19.

Les cotes des paramètres de la méthode DRASTIC (D'après Lallemande-Barrès ; 1994)

Profondeur (m)	cote
0 – 1,5	10
1,5 – 4,5	9
4,5 – 9	7
9 – 15	5
15 – 25	3
25 – 30	2
>30	1

Recharge (mm /an)	Cote
0 – 50	1
50 – 100	3
100 – 175	6
175 – 250	8
>250	9

Type d'aquifère (A)	Cote
Argile compacte	2
Métamorphique/ignées	3
Métamorphique/ignées altérées, grès lités, calcaire	4
Dépôt glaciaire meuble	5
Calcaire ou grès ou/et argile	6
Grès compacts	6
Calcaire compact	6
Sédiments meubles (gravier et sable)	8
Basalte	9
Calcaire karstifié	10

Type de sol(S)	Cote
Gravier	10
Sable	9
Argile, agrégats	7
Limon sableux	6
Limon	5
Limon silteux	4
Limon argileux	3
Argile non agrégée	1

Pente %	Cote
0 – 2	10
2 – 6	9
6 – 12	5
12 – 18	3
> 18	1

Zone non saturé (I)	Cote
Formations confinantes	1
Limon / argile	3
Argilite	3
Calcaire	6
Grés	6
Calcaire et ou grés et ou argilite stratifié	6
Sable et gravier avec limon /argile	6
Métamorphique /ignées	4
Sable et gravier	8
Basaltes	9
Calcaire karstifié	10

Perméabilité (m /J)	Cote
0,025 - 2,59	1
2,59 - 6,04	2
6,04 - 8,64	4
8,64 - 25,38	6
25,38 - 60,48	8
> 60,48	10

Carte n° 130: INKERMANN

Sondages	Coordonnées		Profondeur de la nappe				Perméabilité			
	X	Y	P.N	notes	poids	indices	K	notes	poids	indices
448	315,5	283,15	20	3	5	15	k-4	6	3	18
955	327,86	291,32	37	1	5	5	k-7	1	3	3
964	309,85	288,025	475	1	5	5	k-5	6	3	18
970	328,7	298,8	66	1	5	5	k-2	10	3	30
994	331,55	294,175	2	9	5	45	k-7	1	3	3
1015	308,4	297,5	52	1	5	5	k-4	6	3	18
1073	332,925	294,08	2	9	5	45	k-6	1	3	3
1080	324,9	294,6	2,8	9	5	45	k-9	1	3	3
1093	326,3	291,2	49,6	1	5	5	k-2	10	3	30

Sondages	Coordonnées		Zone non saturée				Zone saturée			
	X	Y	Natures	notes	poids	indices	Natures	notes	poids	indices
448	315,5	283,15	argiles+graviers	2	5	10	graviers+sables	6	3	18
955	327,86	291,32	marnes	1	5	5	grés	4	3	12
964	309,85	288,025	argiles+sables	2	5	10	sables	6	3	18
970	328,7	298,8	limons+sables	2	5	10	alluvions gros	6	3	18
994	331,55	294,175	argiles+sables	2	5	10	grés	4	3	12
1015	308,4	297,5	argiles+sables	2	5	10	graviers+sables	6	3	18
1073	332,925	294,08	grés+calcaires	4	5	20	calcaires+grés	6	3	18
1080	324,9	294,6	argiles	1	5	5	argiles++sables	4	3	12
1093	326,3	291,2	argiles+sables	2	5	10	alluvions	6	3	18

Carte n° 156: RELIZANE

Sondages	Coordonnées		Profondeur de la nappe				Perméabilité			
	X	Y	P.N	notes	poids	indices	K	notes	poids	indices
471	302	277,175	4,7	7	5	35	k-6	1	3	3
4868	293,73	274,575	50	1	5	5	k-6	1	3	3
4870	293	277,875	150	1	5	5	k-6	1	3	3
4886	304,25	272,85	15	5	5	25	1	10	3	30
4937	282,7	273,2					k-6	1	3	3
4939	284,245	272,3					k-6	1	3	3
4943	295,7	263,9								
4945	285,5	268,8	60	1	5	5	k-6	1	3	3
4965	290,8	274	35	1	5	5	k-6	1	3	3
4966	287,15	268,5	22,3	2	5	10	k-4	6	3	18

Sondages	Coordonnées		Zone non saturée				Zone saturée			
	X	Y	Natures	notes	poids	indices	Natures	notes	poids	indices
471	302	277,175	sables	6	5	30	sables+grés	6	3	18
4868	293,73	274,575	sables	6	5	30	calcaires+grés	4	3	12
4870	293	277,875	sables	6	5	30	calcaires+sables	6	3	18
4886	304,25	272,85	sables+° argiles	6	5	30	conglomerats	6	3	18
4937	282,7	273,2	grés+calcaires	4	5	20	grés+calcaires	4	3	12
4939	284,245	272,3	grés+calcaires	4	5	20	grés+calcaires	4	3	12
4943	295,7	263,9	eaux fortement salée							
4945	285,5	268,8	alluvions+sables	6	5	30	grés+calcaires	4	3	12
4965	290,8	274	limons	1	5	5	sables+grés	6	3	18
4966	287,15	268,5	argiles+sables	2	5	10	graviers+sables	6	3	18

Carte n° 157: ZEMMORA

Sondages	Coordonnées		Profondeur de la nappe				K	Perméabilité		
	X	Y	P.N	notes	poids	indices		notes	poids	indices
1071	308,825	278,6	1,13	10	5	50	6	3	18	
1085	327,5	264,45	15	5	5	25	6	3	18	
1105	317,15	280,6	51	1	5	5	10	3	30	

Sondages	Coordonnées		Zone non saturée				Zone saturée			
	X	Y	Natures	notes	poids	indices	Natures	notes	poids	indices
1071	308,825	278,6	argiles	1	5	5	sables	6	3	18
1085	327,5	264,45	arg+sabl+grav	2	5	10	sables	6	3	18
1105	317,15	280,6	argiles+grav	2	5	10	graviers	6	3	18