

Validité de l'application de la méthode de vulnérabilité DRASTIC à l'étude de la pollution par les nitrates dans la Mitidja (Nord d'Algérie).

Saida. Sbargoud

Attachée de recherche à l'Institut National de la Recherche Agronomique d'Algérie(INRAA)

RESUME

La Mitidja constitue une vaste plaine irriguée couvrant une superficie de 1450km², qui renferme le plus grand aquifère du pays. Les ressources disponibles de cet aquifère sont estimées à 300 hm³. Leur exploitation est un impératif économique jugé prioritaire du fait que la ressource en eau superficielle devient de plus en plus rare par les effets conjugués de la sécheresse et de l'augmentation de la population et de ses besoins. Étant donné que cette région est à vocation agricole par excellence, les agriculteurs sont contraints à intensifier leurs productions pour assurer leurs revenus. Cette intensification se traduit par une augmentation des apports en nutriments (engrais et autres). Cet apport excessif provoque des pertes de polluants notamment les nitrates vers la nappe et le réseau hydrographique. Cette pollution nitrique diminue le potentiel des ressources hydriques de bonne qualité, génère un risque sanitaire pour la population rurale et compromet le développement socioéconomique du pays. De ce fait et afin de protéger les eaux souterraines de la Mitidja, une étude de la vulnérabilité à la pollution de la nappe par les nitrates a été effectuée en appliquant la méthode DRASTIC standard (Aller et al, 1987), couplée avec un Système d'Information Géographique (SIG). L'objectif est de démontrer l'apport de l'usage combiné de SIG et ce modèle pour délimiter les zones à risque à la pollution par les nitrates de cet aquifère et pour une meilleure gestion des ressources en eau. La carte de vulnérabilité obtenue a montré que l'aquifère de la Mitidja étudiée est assez vulnérable à la pollution par les nitrates, de plus, les zones à vulnérabilité élevée se concentrent dans des régions agricoles, là où les engrais azotés sont fréquemment utilisés, ce qui augmente le risque de pollution. La validité de l'application de cette méthode à l'étude de la pollution par les nitrates de la nappe en question a été testée, en établissant une comparaison entre la répartition des nitrates dans les eaux de l'aquifère et la répartition des classes de vulnérabilité. Cela a montré que les zones à fort taux de nitrates se superposent aux zones de fortes vulnérabilités. Les différentes cartes éditées peuvent être utilisées comme des outils d'aide à la décision et d'analyse spatiale pour tous projets futurs dans la région.

Mots clés: Vulnérabilité, pollution, nappe, nitrates, DRASTIC, SIG, Eaux souterraines, qualité de l'eau, Gestion, Contamination.

Validity of applying the method of vulnerability DRASTIC and the study of nitrate pollution in the Mitidja (northern Algeria)

Saida Sbagoud

National Institute of Agronomic Research of Algeria (INRAA), 2, Rue des frères Ouaddek BP 200 Hacem Badi, El Harrach, Alger – Algérie.

Summary

Mitidja is a vast irrigated plain covering an area of 1450km², which contains the largest aquifer in the country. Available resources of this aquifer is estimated at 300 hm³. Their operation is considered a priority an economic imperative that the surface water resource is becoming scarcer by the combined effects of drought and increasing population and its needs. Since this region is a region of choice for agricultural, farmers are forced to intensify their production for their income. This increase translates into an increase in nutrient inputs (fertilizers and others). This excessive intake causes losses of pollutants including nitrates into ground and surface waters. This reduces the potential nitrate pollution of water resources of good quality, generates a health risk for the rural population and jeopardizes the country's socioeconomic development. And thereby to protect the groundwater of Mitidja, a study of vulnerability to groundwater pollution by nitrates was carried out by applying method standard DRASTIC (Aller et al, 1987 (coupled with a Geographic Information System (GIS)). The objective is to demonstrate the contribution of the combined use of GIS and models to delineate areas at risk for nitrate pollution of the aquifer and for better management of water resources. The vulnerability map obtained showed that the aquifer Mitidja studied is quite vulnerable by nitrate pollution, in addition, areas with high vulnerability are concentrated in agricultural areas where nitrogen fertilizers are frequently used, which increases the risk of pollution. The validity of applying the method to the study of nitrate pollution of the water in question was tested by a comparison between the distribution of nitrate in the aquifer and the distribution of vulnerability classes. This showed that areas with high nitrate levels are superimposed on areas of high vulnerability. The various maps published can be used as tools for decision support and spatial analysis for all future projects in the region.

Keywords: vulnerability, pollution, water, nitrates, DRASTIC, SIG, Groundwater, water quality, management, contamination.

1. INTRODUCTION

Les eaux souterraines de la nappe de Mitidja subissent une pollution multiforme qui fragilise cette vaste et riche plaine. Essentiellement alimentées par les eaux de pluie mais également par l'infiltration des eaux des oueds traversant la plaine et communiquant en permanence avec la nappe alluviale. Les ressources en eaux souterraines de cette nappe sont de plus en plus sollicitées pour couvrir les besoins en eau qui ne cesse de croître dans divers domaines (alimentation, irrigation, industrie, etc.). Ces ressources en eaux souterraines sont toutefois menacées par plusieurs facteurs liés à la mauvaise gestion, la surexploitation et l'utilisation intensive des engrais et pesticides. Le niveau des nitrates de presque la moitié des points d'eau (forages et puits) situés sur le bassin de Sidi Rached dépasse largement la limite admissible de l'OMS (50mg/l).

La question majeure qui se pose est alors, comment gérer et protéger nos ressources en eaux ? Pour cela des mesures de prévention et de protection se posent. Cette protection peut être assurée par la délimitation des zones dites vulnérables ou à hautes risques.

Dans le but de préserver les ressources en eau souterraine de l'aquifère de Mitidja et d'améliorer sa gestion, ce travail consiste à cartographier sa vulnérabilité à la pollution par l'application de la méthode DRASTIC qui est considérée comme un outil d'aide à la décision en matière d'aménagement du territoire.

Ce travail a été réalisé dans le but d'étudier la vulnérabilité de la nappe de la région de Bonoua par l'application des méthodes DRASTIC

2. PRESENTATION GENERALE DE LA ZONE D'ETUDE (BASSIN DE SIDI RACHED – MITIDJA OUEST)

L'Algérie est située au contact du bassin méditerranéen et du Sahel, au Nord de l'Afrique, entre le Maroc et la Tunisie, avec lesquelles elle forme le Maghreb.

La Mitidja est une vaste plaine située au sud d'Alger, sa superficie est de 1 400 km², de forme allongée, elle s'étend d'Est en Ouest sur une centaine de kilomètres et dont la largeur varie de 5 à 20 km. Bordée par deux reliefs élevés. Au nord, par les collines du Sahel algérois et au sud, par l'Atlas blidéen.

D'ouest en Est, la plaine traverse les wilayates de Tipaza, de Blida, d'Alger et de Boumerdes. Elle est située entre les longitudes 2°32'00 à 3°19'00 et les latitudes 36°25'17 à 36°47'40.

La Mitidja est constituée de plusieurs bassins versants dont celui de Sidi Rached qui fait l'objet de notre étude. Ce bassin versant est situé à l'extrême ouest de la plaine et traverse deux (02) wilayas (Tipaza et Blida). Il est limité au Nord par le sahel et la wilaya de

Tipaza, à l'Est par Attatba et El Affroun, à l'Ouest par Hadjout et au Sud par la barrière de l'Atlas Blidéen. Il occupe une superficie de 156.4 km² et une population de 54000 habitants.

Les principales villes du bassin versant sont Sidi Rached, Ahmeur el Ain et Bourkika.

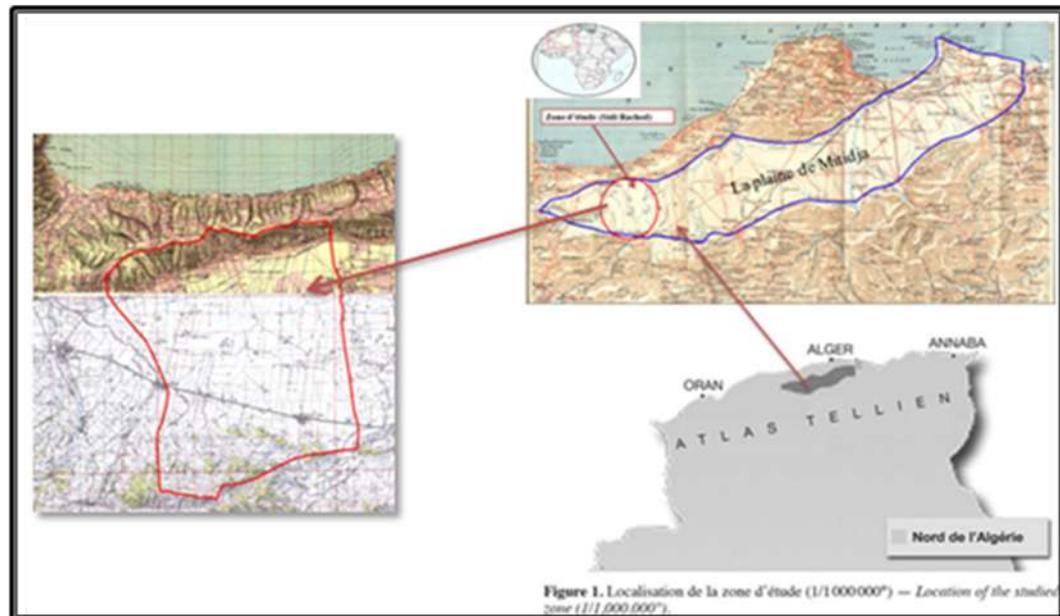


Figure 1. Carte de situation de la zone d'étude (Sidi Rached- Mitidja ouest)

La plaine de la Mitidja est soumise à un climat régional subhumide littoral caractérisant l'ensemble des plaines côtières. Au fur et à mesure que l'on s'éloigne du littoral, le climat devient de plus en plus continental et l'on enregistre une baisse sensible des températures.

De point de vue pluviométrie, les pluies sont souvent irrégulières d'une année à l'autre, elles se caractérisent par un gradient décroissant de l'Est (625 mm à Sidi Rached) à Ouest (510 mm à Sidi Ghiles), et d'un gradient croissant du littoral vers le Sud, où les stations des régions comme Menacer, Ahmeur el Ain situées aux limites de l'Atlas Blidéen enregistrent des pluies moyennes supérieures à 580 mm.

Le réseau hydrographique du bassin de Sidi Rached est caractérisé par un ensemble de cours d'eaux qui drainent des affleurements des alluvions. A (de) l'Est on trouve l'oued Bouziane, au Sud Est l'oued Ahmer el Ain, à l'Ouest l'oued Ouriane et au Sud Ouest les oueds Guenidha et Oued Saffah (Figure 2).

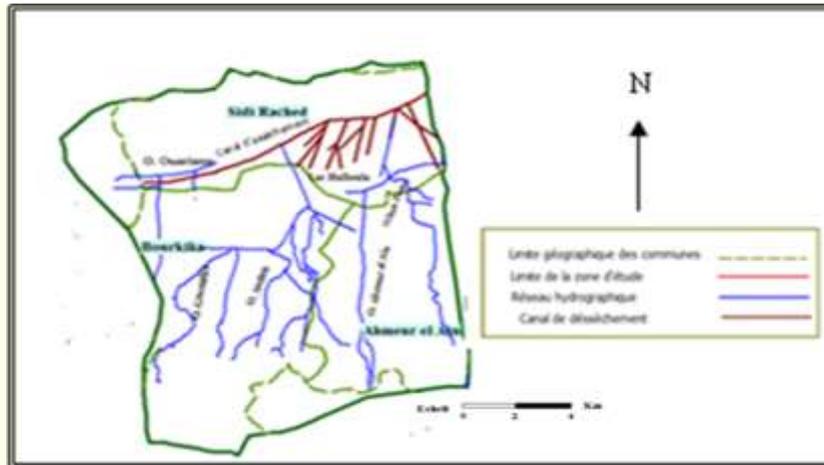


Figure 2. Carte du réseau hydrographique du bassin de Sidi Rached (Mitidja ouest)

Plus de 200 forages et puits sont actuellement exploités au niveau de la nappe de Sidi Rached pour l'irrigation et l'AEP. La recharge de la nappe de Mitidja se fait essentiellement par les précipitations mais aussi par les apports souterrains provenant de l'Atlas Blidéen.

Sur le plan géologique et hydrogéologique, Mitidja renferme deux niveaux aquifères :

- La formation de l'Astien
- Les alluvions du quaternaire qui reposent sur les marnes du plaisancier formant la limite étanche de presque tout le bassin.

Entre ces deux aquifères il existe une formation semi perméable argilo marneux du villafranchien appelée marne d'el Harrach dont l'épaisseur est de 100m au centre qui diminue vers le sud (Binnie et Atkins, 1983).



Figure 3. Position des coupes géologique de la Mitidja ouest (Sidi Rached)

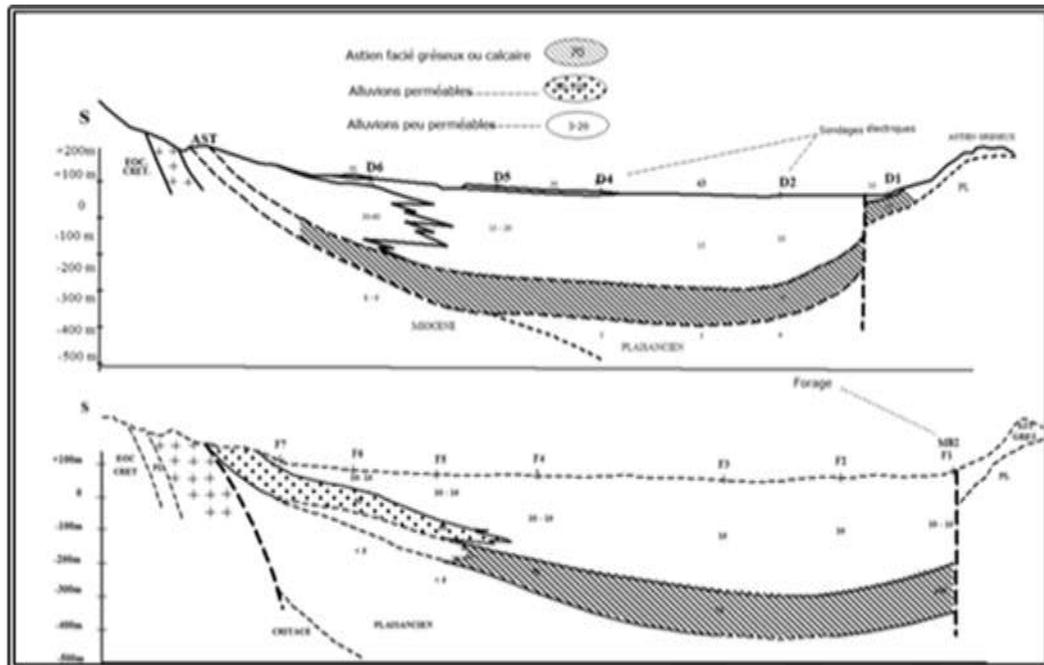


Figure 4. Coupes géologique du bassin de sidi Rached (Mitidja ouest)(CGG, 1967).

Les ressources de cette nappe sont menacées par l'utilisation de plus en plus accentuée d'engrais chimiques dans le domaine agricole, ainsi que par les rejets urbains et industriels et absence de stations d'épuration. En effet Des teneurs en nitrates dépassant les normes ont été observées dans de nombreux forages et puits. Cette pollution est due essentiellement à l'intensification agricole et les rejets urbains faute de réseau d'assainissement.

La situation actuelle est donc critique. Une question majeure qui se pose est, comment gérer et protéger cette ressource en eau? Pour cela des mesures de prévention et de protection se posent. Cette protection passe tout d'abord par la délimitation des zones dites vulnérables. C'est dans ce but que ce travail s'incère et qui consiste à cartographier la vulnérabilité à la pollution de la nappe phréatique de Sidi Rached (Mitidja ouest) par l'application de la méthode DRASTIC.

3. MATERIEL ET METHODES

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 saturée, à des méthodes de pondération entre différents critères affectant la vulnérabilité (Gogu et Dassargues, 1998 b).

Dans le cadre de la présente étude, notre choix a porté sur l'application d'une des méthodes de la catégorie de cartographie à index avec pondération des critères (Point County Systems Model PCSM) à savoir la méthode DRASTIC standard (Aller et al. A987). Les méthodes de cette catégorie sont les plus pertinentes vis à vis des réalités de terrain du fait de la prise en compte de l'importance relative de chaque critère vis-à-vis de la vulnérabilité générale de la nappe. Ce sont aussi les plus reconnues et utilisées à l'heure actuelle pour la cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines (Gogu et Dassargues 2000 ; Zaporoze et Vrba 1994).

A. Description de la méthode DRASTIC

La méthode DRASTIC a été mise au point dans les années 1980 par la National Water Well Association dont l'objectif est d'évaluer les risques de pollution des eaux souterraines (Suais et Durbar, 1993) ; (Vrba et Zaporozec, 1995). Cette méthode permet l'établissement de cartes de vulnérabilité qui constituent la synthèse des connaissances lithologiques, pédologiques et hydrogéologiques d'une région.

L'acronyme DRASTIC correspond aux initiales de sept facteurs déterminant la valeur de l'indice de vulnérabilité (Bézélgues et *al.* 2002) :

D : Epaisseur de la zone non saturée;

R : la recharge efficace;

A : les matériaux de l'aquifère;

S : le type de sol;

T : la topographie ou la pente;

I : l'impact de la zone vadose ou zone non saturée;

C : la perméabilité ou la conductivité hydraulique de l'aquifère.

À chacun de ces paramètres correspond un poids (valeur prédéterminée) compris entre 1 et 5, qui traduisent 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.

Les valeurs des poids des paramètres de la méthode DRASTIC utilisées sont celles définies par Aller et al. (1987). Ces valeurs sont représentées dans le tableau 1.

Tableau 1. Poids des paramètres DRASTIC (Aller et al. 1987)

Paramètre	Poids
D : Profondeur du plan d'eau	5
R ; Recharge efficace	4
A : matériau de l'aquifère	3
S : Type de sol	2
T : Pente du terrain	1
I : Impact de la zone non saturée	5
C : Conductivité hydraulique	3

À chacun des 7 paramètres est associée une cote variant de 1 à 10, définie en fonction d'intervalles de valeurs. La plus petite cote représente les conditions de plus faible vulnérabilité à la contamination (Dc, Rc, Ac, ...).

Pour chaque paramètre DRASTIC, nous avons élaboré une carte paramétrique en se basant sur les notations et les coefficients de pondération accordés aux critères.

Les Notations accordées aux paramètres DRASTIC sont illustrées sur le tableau suivant (d'après Lallemand – Barrès 1994)

Tableau 2. Notations accordées aux paramètres DRASTIC (Lallemand-Barrès 1994)

D : distance à la nappe Epaisseur de la ZNS Valeurs en m	notation	R : Recharge Valeurs en cm	notation
--	----------	-------------------------------	----------

0 à 2	10	0 à 5	1
2 à 4	9	5 à 10	3
4 à 6	8	10 à 15	6
6 à 8	7	15 à 25	8
8 à 11	6	>à 25	9
11 à 14	5		
14 à 18	4		
18 à 25	3		
25 à 33	2		
> à 33	1		
A : Nature de la zone saturée		S : Type de sol	
Calcaire karstique	10	Peu épais ou absent	10
Basalte	9	Gravier	10
Sable et gravier	8	Sable	9
Calcaire massif	6	Argile, agrégats	7
Grés massif	6	Limon sableux	6
Shales en séquence	6	Limon	5
Métamorphique altérée, grés	4	Limon silteux	4
Métamorphique	3	Limon argileux	3
Shale massif	2	Argile non agrégé et non fissuré	1
T : Pente		I : Impact de la zone vadoze	
Pente en %	notation	Calcaire karstique	10
0 à 2	10	Basalte	9
2 à 6	9	Sable et gravier	8
6 à 8	8	Sable et gravier avec silt et argile	6
8 à 10	7	Calcaire lité, grés, shale	6
10 à 12	5	Grés	6
12 à 18	3	Calcaire	6
>à 18	1	Shale	3
		Silt/Argile	1
C : Conductivité hydraulique			
Valeur m/s		Notation	
>9,4 10 ⁻⁴		10	
4,7.10 ⁻⁴ à 9,4 10 ⁻⁴		8	
32,9.10 ⁻⁵ à 4,7.10 ⁻⁴		6	
14,7.10 ⁻⁵ à 32,9.10 ⁻⁵		4	
4,7.10 ⁻⁵ à 14,7.10 ⁻⁵		2	
4,7.10 ⁻⁷ à 4,7.10 ⁻⁵		1	

Le calcul de l'indice de vulnérabilité DRASTIC notée ID propre à chaque unité hydrogéologique est obtenu par la somme des produits de chaque côte par son poids selon l'équation (1) (Osborne et *al.* 1998) :

$$ID = Dc \times Dp + Rc \times Rp + Ac \times Ap + Sc \times Sp + Tc \times Tp + Ic \times Ip + Cc \times Cp \quad (1)$$

P. Etant le poids du paramètre (varie de 1 à 5).

C. La cote associée (varie de 1 à 10).

L'indice ainsi calculé représente une mesure 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 (100 %) et une valeur minimale de 23 (0 %).

Une classification à été établi par Engel et al 1996 qui permet de fixer les limites des intervalles des indices calculés et de faire correspondre des classes de vulnérabilité à ces indices (Tableau 3).

Tableau 3. Critères d'évaluation de la vulnérabilité dans la méthode DRASTIC (Engel et *al.* 1996)

Degré de vulnérabilité	Indice de vulnérabilité
------------------------	-------------------------

Faible	< à 101
Moyen	101 à 140
Elevé	140 à 200
Très élevé	>à 200

L'appréciation de cet indice de vulnérabilité n'est possible que par l'analyse comparative entre différents unités hydrogéologiques. A cet effet, un système de représentation du degré de vulnérabilité a été développé afin de permettre aux utilisateurs une visualisation immédiate de ce dernier. Le principe consiste à exprimer la vulnérabilité en pourcentage par l'application de l'équation 2 :

$$ID (\%) = (ID - 23) * 100 / 203 \quad (2)$$

Avec

I D. Indice de vulnérabilité de l'unité hydrogéologique calculé.

B. Base de données et acquisition

L'application de la méthode DRASTIC nécessite une collecte importante de données ayant trait à l'hydrogéologie, à la géologie, à la morphologie, à la pédologie et à la topographie du milieu naturel. Chaque paramètre de DRASTIC nécessite un certain nombre de données (Tableau 4).

Tableau 4. Données utilisées pour le calcul et la cartographie des paramètres DRASTIC.

Symbole	Paramètre	Type et source d'information	Poids
D	Epaisseur de la ZNS	-Courbe de niveau (MNT) (ANRH); -Campagnes piézométriques (Projet Qualiwater 2010).	5
R	Recharge nette	- Etude géologique et hydrogéologique (Energoprojekt Mai 1977) ; - Etude d'aménagement hydro-agricole de la plaine de Mitidja Sir Macdonald et Partners Limited, 1992) ; -Etude géophysique de la plaine de Mitidja (Compagne Générale de Géographie 1967) ; -Les données pluviométriques (ANRH).	4
A	Lithologie de l'Aquifère	-Coupes lithologiques de forages (DRC et DHW) ; -Carte hydrogéologique de la région d'Alger au 1/200 000, K. Achi, 1973- ANRH d'Alger).	3
S	Sol	-Etude Agro pédologique de la plaine de la mitidja (Ecrement et Seghir, 1971- ANRH d'Alger).	2
T	Topographie	-Cartes topographiques de Tipaza N°40 et de Marengo (Hadjout) N°62 au 1/50 000.	1
I	Zone non saturée (Vadose)	-Coupes lithologiques de forages (ANRH et DHW) ; -Etudes géophysique cité ci-dessus. -Carte géologique (ANRH)	5

C	Perméabilité	Études géophysique et hydrogéologie déjà citées.	3
---	--------------	--	---

Le traitement de toutes ces données s'est effectué à l'aide des logiciels ArcGis 9.3 et SURFER10 et a permis de construire la base de données physique de la zone d'étude.

C. Validation de la carte de vulnérabilité

Toute carte de vulnérabilité élaborée doit être testée et validée par des mesures et l'analyse de données chimiques des eaux souterraines. En effet, plusieurs auteurs Isabel et al. (1990); Champagne et Chapuis, (1993); Mohamed, (2001); Jourda et al., (2006); Hamza et al., (2007), Kouamé (2007), Gabriel Etienne et al (2009); ont vérifié la validité des méthodes d'évaluation de la vulnérabilité à la pollution en se basant sur des données chimiques des eaux souterraines.

Dans le cas de notre étude, la validité de l'évaluation de la vulnérabilité à la pollution par les méthodes DRASTIC, a été testée par le taux des nitrates dans les eaux souterraines en établissant une comparaison entre la répartition spatiale des nitrates dans les eaux souterraines et la distribution des classes de vulnérabilité. Pour cela un suivi de la qualité des eaux souterraines a été effectué sur des forages agricoles pour les années 2008 à 2010, près de 50 échantillons d'eaux ont été collectés à partir des forages et analysés. Les paramètres analysés sont les nitrates et la minéralisation.

En parallèle, plus d'une vingtaine de forages destinés à l'alimentation en eau potable existent au niveau de la zone d'étude et sont suivis par la direction de l'hydraulique de la wilaya de Tipaza.

4. Résultats et discussions

A. Elaboration des couches thématiques des sept paramètres DRASTIC

1. Épaisseur de la zone non saturée (D)

L'épaisseur de la Zone non saturée joue un rôle primordial dans la qualification de la capacité de l'aquifère à être affecté par l'infiltration d'un polluant. Elle est déterminée par la différence d'altitude entre la courbe de niveau (MNT) et la courbe isopièze (niveau d'eau). Les données sont présentes sur l'ensemble de la région comme le montre la carte suivante.

La définition des classes de l'épaisseur de la zone non saturée (D) a été basée selon la notation accordée par Lallemand –Barrés, 1994. Les classes ainsi retenues pour le paramètre « D » sont récapitulées dans le Tableau 5.

Tableau 5. Poids, cote et indice du paramètre Profondeur à la nappe de Sidi Rached (Mitidja ouest)

Classe D(m)	Cote (c)	Indice	Superficie %
0 à 2	10	50	3,2
2 à 4	9	45	2,5
4 à 6	8	40	4,6
6 à 8	7	35	6,1
8 à 11	6	30	6,7
11 à 14	5	25	5,8
14 à 18	4	20	6,6

18 à 25	3	15	24,5
25 à 33	2	10	31,9
>à 33	1	5	8,1
Poids DRASTIC = 5			

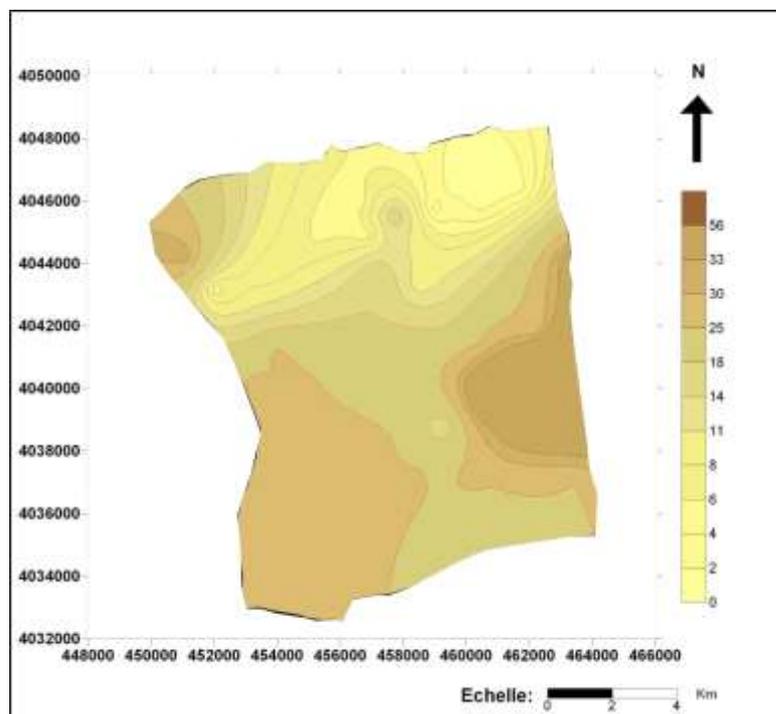


Figure 5. Epaisseur de la zone non saturée (D).

2. Recharge

Définit la quantité de l'eau par unité de surface qui s'infiltré et atteint la zone saturée. Elle dépend du climat (précipitations et ETP), mais également de la topographie et de la nature des formations. Cette eau constitue un facteur de transfert des polluants vers les eaux souterraines en traversant la zone vadoze. Généralement plus la quantité d'eau est importante, plus la possibilité de contaminer la nappe est élevée.

Pour appliquer la méthode DRASTIC, nous avons calculé la recharge directe de la nappe à partir des précipitations sur la plaine, en appliquant le modèle établi par Mac Donald dans le cadre de réalisation de l'étude d'aménagement hydro-agricole de la plaine de Mitidja 1992) :

$$R = (P - RT).RP \quad (3)$$

Avec RT : valeur limite des précipitations, en dessous de laquelle aucune recharge ne se produit;

RP : fraction des précipitations efficaces qui contribue à la recharge de la nappe dans chaque maille.

P : pluviométrie brute dans chaque maille.

La définition des classes de recharge (R) a été basée selon la notation accordée par Lallemand –Barrés, 1994. Les classes ainsi retenues pour ce paramètre sont récapitulées dans le tableau 6.

Tableau 6. Poids, cote et indice du paramètre de Recharge de la nappe de Sidi Rached (Mitidja ouest)

Classe (mm)	cote	Indice	Superficie %
0 à 50	1	4	16,9
50 à 100	3	12	68,2
100 à 150	6	24	14,9
poids DRASTIC = 4			

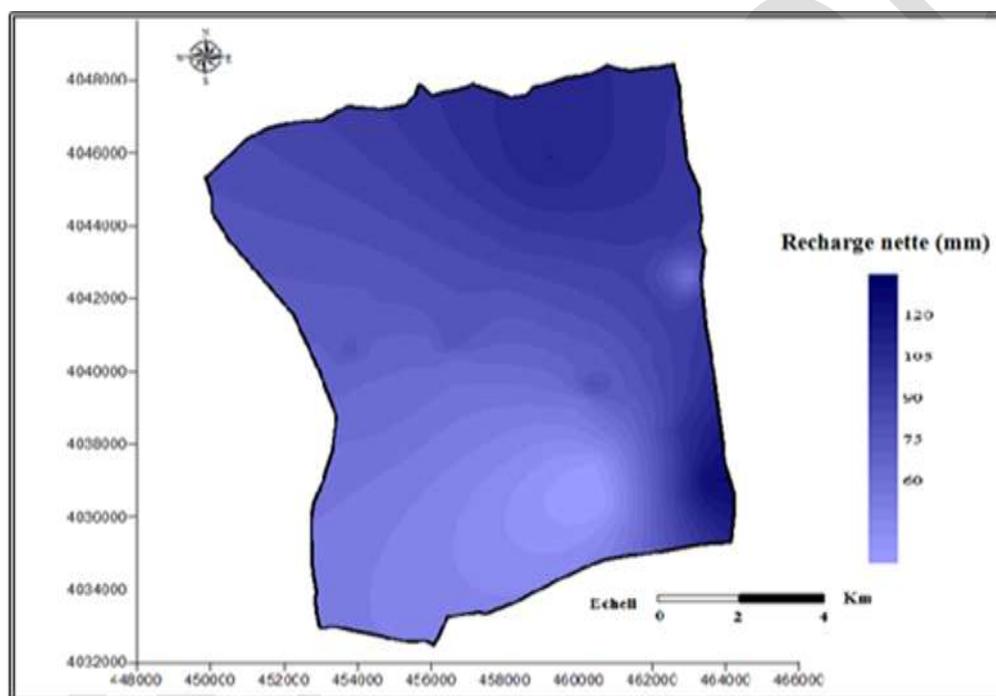


Figure 6. Carte de la recharge nette (R)

3. Milieu Aquifère (A)

Le paramètre milieu aquifère désigne la lithologie de l'aquifère et il intervient dans le piégeage des polluants, entre autre les nitrates, échappés au pouvoir d'absorption du sol. Son identification a été basée sur les logs et les coupes lithologiques des forages réalisés dans la zone d'étude. L'analyse de ces données a illustré que le matériau aquifère de la nappe de Sidi Rached (Mitidja ouest) est constituée essentiellement de gravier et d'argile, d'argile et cailloutis, des alluvions (mélange d'argile, sable et ravier), de marno-calcaire et sable et de marne et argile. Les indices correspondant à ce paramètre ont été estimés selon la notation illustrée dans le tableau 5.

Tableau 7. Poids, cote et indice du paramètre Milieu aquifère de Sidi Rached (Mitidja ouest)

.Classe	cote	indice	Superficie %
---------	------	--------	--------------

Alternance de gravier et d'argile	7	21	17,2
Alluvions (mélange d'argile, gravier et sable)	5	15	53,6
Marne, calcaire et sable	4	12	2,6
Argile et cailloutis	3	9	3,1
Marne et argile	2	6	5,9
poids DRASTIC = 3			

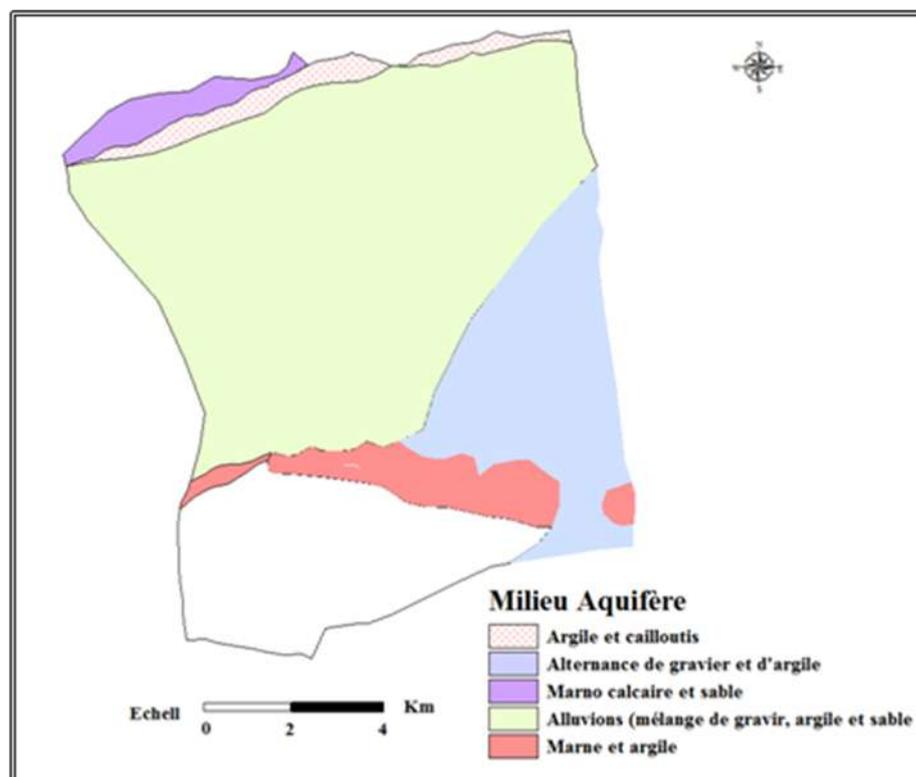


Figure 7. Carte du milieu aquifère de Sidi Rached

4. 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.

Les informations recueillies à partir des études et cartes pédologiques ont permis de définir la nature du sol. Les valeurs indiciaires ont été déterminées selon les classes signalées dans le tableau 8.

Tableau 8. Poids, cote et indice des types de sol de Sidi Rached (Mitidja ouest)

Classe	cote	indice	Superficie %
Argileuse	1	2	13
Argilo-limoneuse	3	6	46,3
Argilo- limoneuse calcaire	4	8	22,6
Limono-Argileuse calcaire	6	12	17,2
Colluvion calcaire et cailloux	7	14	0,9

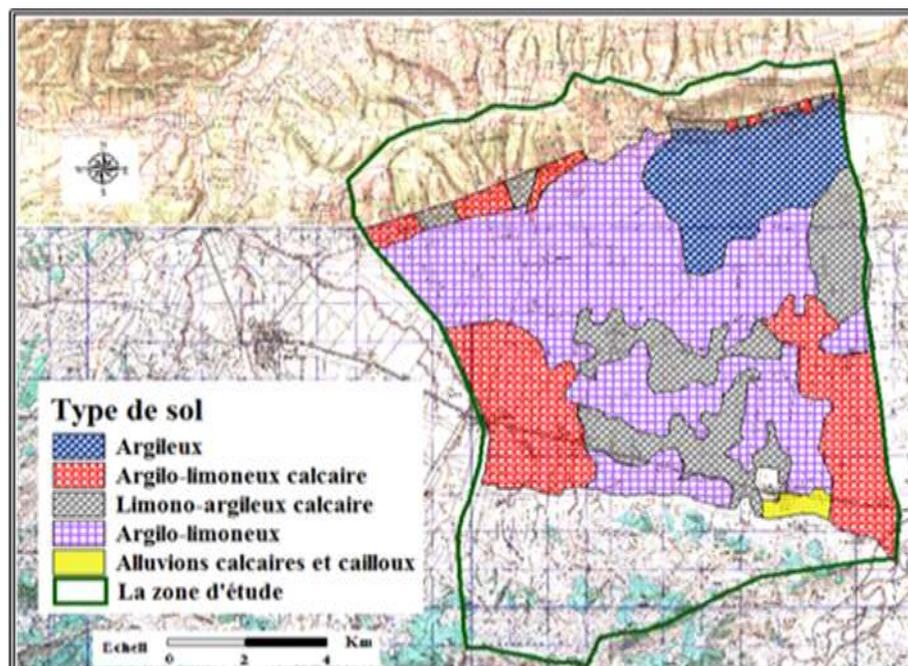


Figure 8. Carte des sols de Sidi Rached.

5. Topographie (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. En revanche, une zone à faible pente a une tendance à retenir l'eau pendant une longue période, cela permet un plus grand potentiel de migration des contaminants.

Le modèle numérique de terrain sous le format TIN a été utilisé pour calculer la pente en tous points dans la zone d'étude. Ce modèle a été généré à l'aide de l'extension 3D de vertical Mapper de Mapinfo. Les courbes de niveaux et les points cotés digitalisés à partir des cartes topographiques 1/50 000 Tipaza N°40 et Marengo (Hadjout) N°62 ont été utilisés comme données de bases. La quasi-totalité de la région (à l'exception des reliefs) est caractérisée par une très faible pente comprise entre 0 et 2%.

La définition des classes de pente (T) a été basée selon la notation accordée par Lallemand –Barrés, 1994. Les classes ainsi retenues pour le paramètre pente « T » sont récapitulées dans le tableau 9.

Tableau 9. Poids, cote et indice du paramètre de Pente de Sidi Rached (Mitidja ouest)

Classe	Cote	indice
0 à 2	10	10
2 à 6	9	9
6 à 8	8	8

8 à 10	7	7
10 à 12	5	5
12 à 18	3	3
>à 18	1	1
Poids DRASTIC = 1		

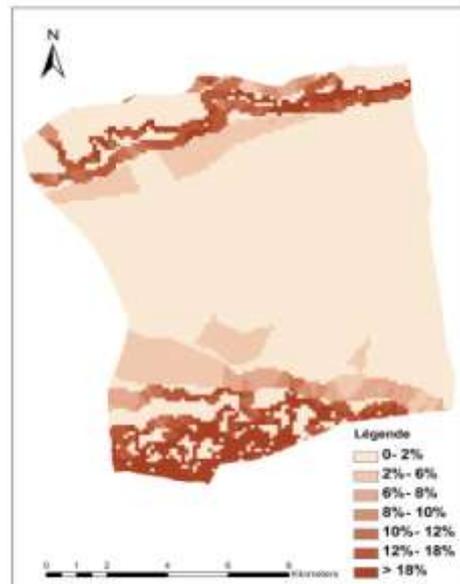


Figure 9. Carte des pentes topographiques de la zone d'étude

6. Impact de la zone vadose (I)

La zone vadose est une zone insaturée située entre la couche de sol et la nappe phréatique (Kabera, T. et Zhaohui, L., 2008, p.201). La nature de cette zone constitue un paramètre important dans l'estimation de la vulnérabilité, car elle influe sur la vitesse de propagation des polluants vers l'aquifère (similaire à celle des médias aquifère (A)). Son impact est déterminé à partir de la lithologie des terrains qui la constituent.

Le processus de calcul et de cartographie du thème « I » est le même que celui de la zone saturée (A). Il est obtenu par interpolation et corrélation des données de forages (logs) et par digitalisation de la carte géologique (échelle 1/100.000). Les différentes classes ainsi obtenues sont pondérées de 1 à 9 selon le modèle DRASTIC.

L'interpolation des notations relatives à ce paramètre a permis de distinguer quatre classes de zones, à degrés de vulnérabilité différents.

Tableau 10. Poids, cote et indice du paramètre d'Impact de la zone vadose de Sidi Rached (Mitidja ouest)

Classe	Cote	Indice	Superficie %
Argile et peu de grés	1	5	3,5
Arile à faible % de gravier	2	10	28,3
Argile et gravier	4	20	39,7
Grés et argile	5	25	28,4
Poids DRASTIC = 5			

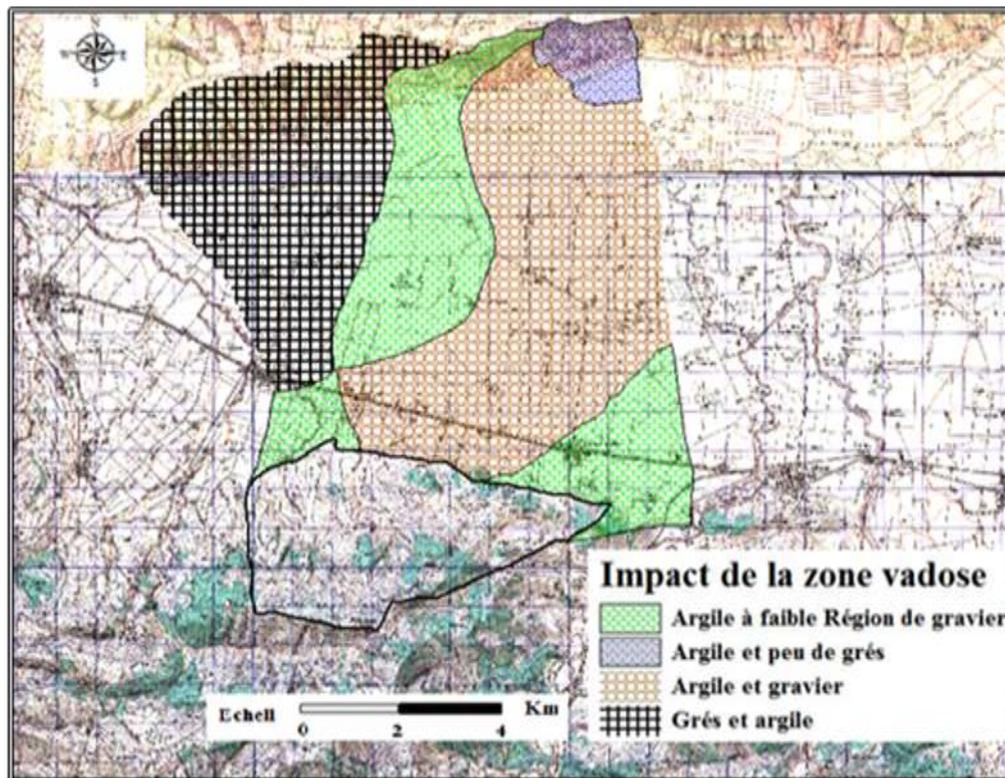


Figure 10. Carte de l'impact de la zone vadose (I) de la nappe de Sidi Rached (Mitidja ouest).

7. Conductivité hydraulique de l'aquifère (C)

La conductivité hydraulique de la couche aquifère nous renseigne sur la vitesse de migration des polluants et leur dispersion dans la nappe du point d'injection, à la surface, jusqu'à la zone saturée et, par conséquent, leurs concentrations dans la nappe aquifère. Plus ce paramètre est important, plus le transfert des polluants est rapide.

Les valeurs des conductivités hydrauliques utilisées pour calculer les degrés de vulnérabilité dans notre zone d'étude, sont obtenues à partir des essais de pompage, sont disponible sous forme de transmissivités. Les perméabilités sont calculées en divisant les transmissivités par la puissance de la nappe. Les valeurs ainsi obtenues sont faibles à moyennes dans leur ensemble et l'interpolation de ces données ponctuelles nous a permis d'établir la carte du paramètre « C ».

Trois classes de conductivité hydraulique ont été distinguées et indexées selon le modèle DRASTIC. Une classe de valeurs élevées ($14,7$ à $32,9 \cdot 10^{-5}$ m/s) située au Nord Ouest du bassin et que ne représente que 2,24% de la surface totale; une autre classe de valeurs moindres ($4,7$ et $14,7 \cdot 10^{-5}$ m/s) située au niveau d'Ahmeur el Ain (Sud Ouest) et qui ne couvre aussi que 8,75% de la surface du bassin. La troisième classe des valeurs faibles ($0,047$ à $4,7 \cdot 10^{-5}$ m/s) et qui couvre presque la totalité du bassin (87,9%) (Figure 11 et tableau 11).

Tableau 11: Poids, cote et indice retenus pour le paramètre de conductivité hydraulique de l'aquifère De Sidi Rached (Mitidja ouest)

Classe (10^{-5})	Cote	Indice	Superficie %
----------------------	------	--------	--------------

0,047 à 4,7	1	3	89,02
4,7 à 14,7	2	6	8,75
14,7 à 32,9	4	12	2,24
Poids DRASTIC = 3			

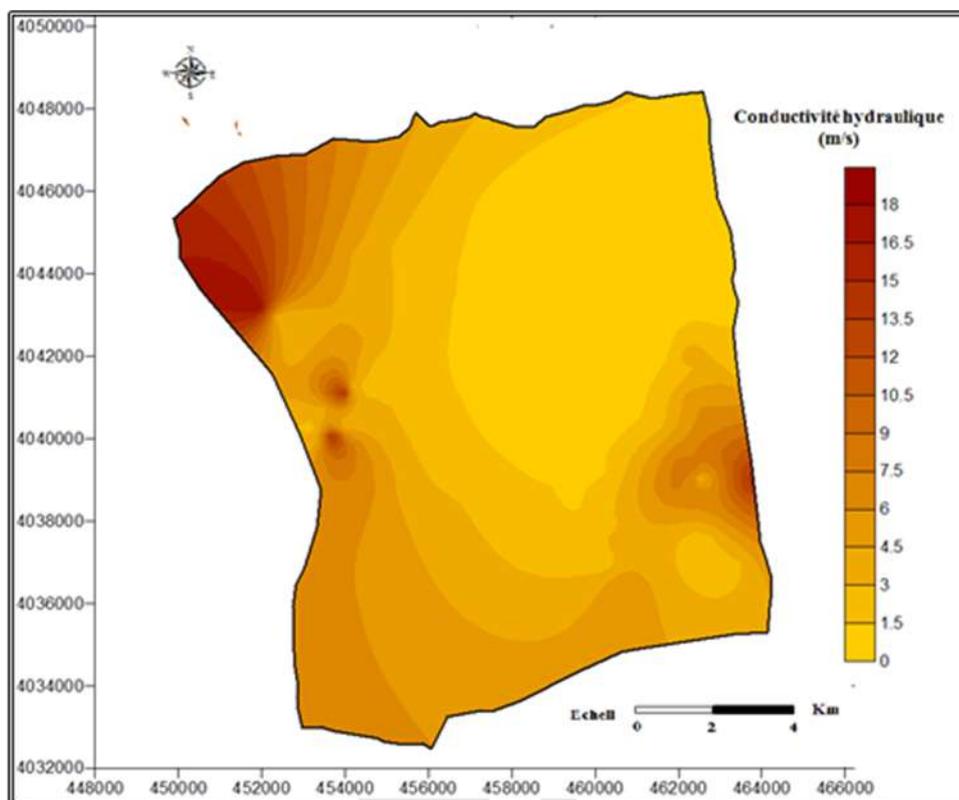


Figure 11. Carte des indices de conductivités hydrauliques (C) de la nappe de Mitidja ouest (Sidi Rached).

B. Indice DRASTIC et degré de vulnérabilité (Niveau de la vulnérabilité par la méthode DRASTIC)

La méthode DRASTIC nous a permis de calculer les indices de vulnérabilité, ces indices représentent une évaluation du niveau de risque de contamination et qui augmente avec la valeur de l'indice de 23 (0%) à 226 (100%). Par contre la répartition spatiale de ces indices a été faite grâce au système d'information géographique (SIG) d'où une carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraine a été établie. L'intérêt de cette carte réside dans le fait qu'elle étend le champ de vision sur l'ensemble du bassin de Sidi Rached et ne se limite donc pas aux endroits où la pollution a déjà contaminée les eaux souterraines et où elle est mesurée. Elle permet ainsi la prise de mesures de protection.

Le calcul des pourcentages de vulnérabilité à l'aide de la formule 2 et l'application de la classification d'ENGEL et al. (1996) nous ont permis d'obtenir, au niveau de la zone de Sidi Rached, trois (03) classes de vulnérabilité (Figure 11). L'analyse de cette carte montre une dominance des aires à vulnérabilité faible et moyenne dans la majorité de la nappe phréatique:

- 1) une classe de vulnérabilité faible occupant 65,6% de la zone d'étude. Cette classe traduit une vulnérabilité faible à la pollution qui peut être expliquée par la faible perméabilité et la faible recharge de la nappe.
- 2) une classe de vulnérabilité à la contamination est moyenne occupant 31,9 % de la zone d'étude.
- 3) une classe de vulnérabilité élevée est confinée dans le Nord du bassin. Cette classe représente 2,5% de la zone étudiée. Ce degré de vulnérabilité peut s'expliquer par la faible épaisseur de la zone vadose (0 à 6m) associée à la faible pente de terrain. Ces conditions favorisent l'infiltration de tout contaminant présent à la surface du sol. Ces zones nécessitent une attention particulière en ce qui concerne les futures décisions d'utilisation des terres.

Tableau 12. Classes de vulnérabilité des eaux souterraines du bassin de Sidi Rached

Valeur de l'Indice DRASTIC (ID)	Degré de vulnérabilité	ID %	Superficie %
< 101	Faible	38,4	65,6
101 < ID < 140	Moyenne	38,4 à 57,6	31,9
140 < ID < 200	Elevée	57,6 à 87,2	2,5

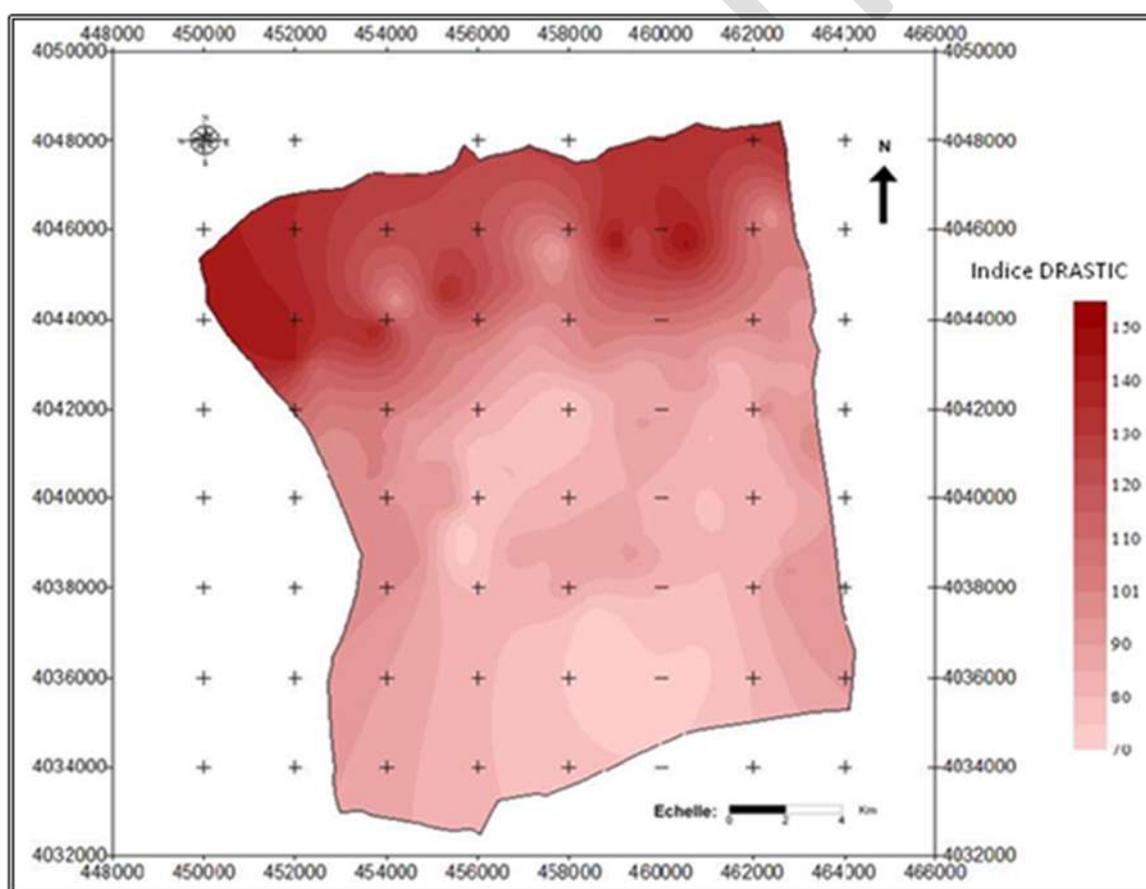


Figure 12. Carte de vulnérabilité à la pollution des eaux souterraines de la région de Sidi Rached selon la méthode DRASTIC

C. Degré de vulnérabilité et répartition spatiale des nitrates (Niveau de la validité de la carte de vulnérabilité à la pollution)

De plus la variation du taux de nitrate moyen au cours des campagnes de mesures montre que les teneurs en nitrates sont plus élevées en période de basses eaux.

Les concentrations de nitrates contenus dans les eaux souterraines de la région de Sidi Rached varient entre 13,9 et 115 mg/l. Ces concentrations sont dans leur majorité supérieures à 50 mg/l (norme OMS).

Ces concentrations sont élevées aux nord et au sud du bassin.

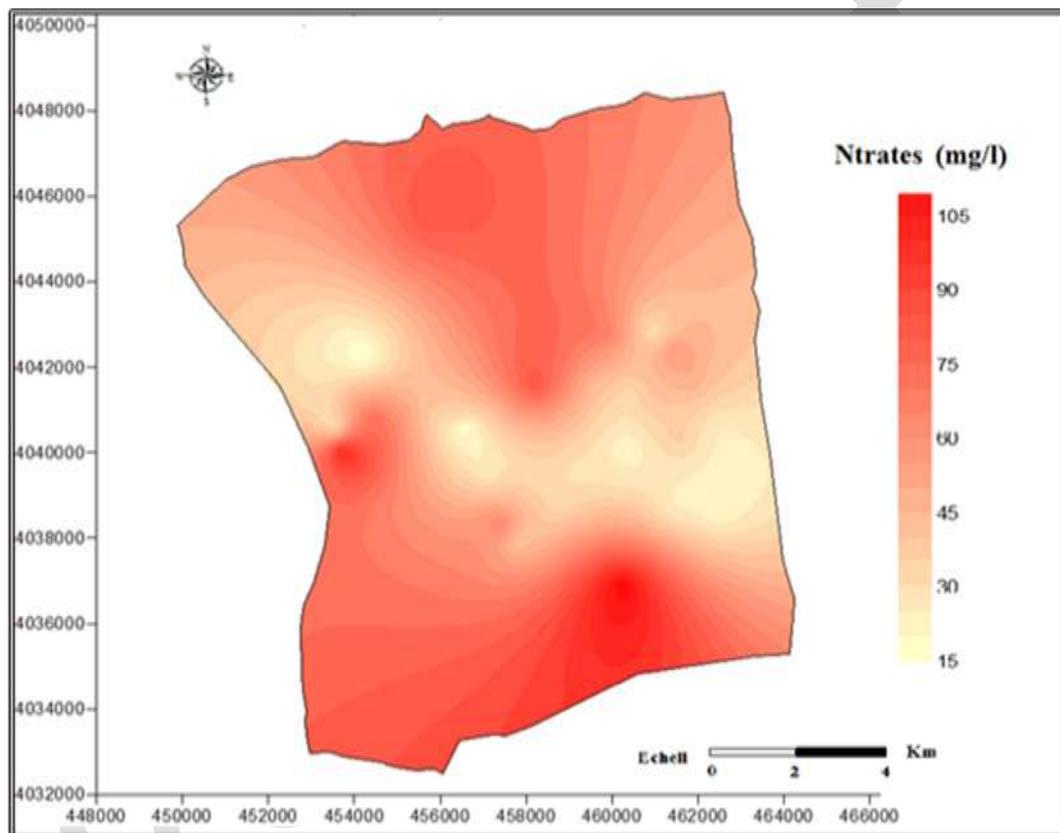


Figure 13. Distribution spatiale des concentrations en nitrates des eaux souterraines dans le bassin de Sidi Rached (Mitidja ouest)

Plus de 50 forages et puits, ont fait l'objet d'analyse chimique dans cette présente étude. Ces analyses indiquent que le niveau des nitrates des 34,2% des points d'eau dépasse largement la limite admissible de l'OMS (50mg/l). En comparant la carte DRASTIC (Figure 11) avec la carte de distribution des nitrates (figure 13) on constate que la zone à risque de vulnérabilité élevé est en corrélation avec celle de concentration en nitrates. Par contre on constate l'existence d'autres zones à fortes concentrations en nitrates comme au sud de la zone d'étude au niveau des villes d'Ahmeur el Ain et Bourkika et qui n'apparaissent pas sur la carte de vulnérabilité. Cela peut être expliqué par le fait que la méthode DRASTIC, malgré sa facilité de mise en œuvre et de report cartographique grâce au SIG, des difficultés apparaissent dans son élaboration à savoir :

- 1) L'attribution des notes des sept paramètres composant le modèle DRASTIC;

- 2) La fiabilité et la disponibilité des données. Au niveau de notre site d'étude les données sont peu nombreuses, il a fallu poser quelques hypothèses, comme c'est le cas pour la recharge et la conductivité hydraulique.
- 3) Le nombre important de paramètres que la méthode DRASTIC prenne en compte. Il est possible qu'un paramètre important soit masqué par les autres paramètres.

Il est donc nécessaire d'effectuer d'abord une étude sur la sensibilité de la nappe à la pollution qui 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, comme dans le cas de notre site. Ensuite d'étudier l'impact de chacun des sept paramètres composant la méthode DRASTIC sur l'indice de vulnérabilité.

Dans tous les cas, malgré les difficultés soulevées dans l'élaboration des cartes de vulnérabilité à la pollution par la méthode DRASTIC, n'alerte en rien sa fiabilité, elle permet toujours de se faire une idée assez précise sur les zones sensibles d'une région donnée en vue de prendre des dispositions de protection nécessaires.

CONCLUSION

La cartographie de la vulnérabilité de la nappe de Sidi Rached réalisée par l'application de la méthode DRASTIC et le système d'information géographique (SIG) révèle une tendance de vulnérabilité à la pollution faible (65,6%), moyenne (31,9%) à forte (2,5%), ce qui nous permet de dire que cette nappe est menacée localement, par l'infiltration des polluants à partir de la surface du sol. Même si la classe de forte vulnérabilité ne représente que 2,5% de la surface totale du bassin, le risque est important vu la présence de plusieurs sources de pollution dans la région à savoir : les apports excessifs des intrants et les rejets domestiques des villageois. Les classes moyenne et faible représentent respectivement 31,9% et 65,6% de la surface cartographiée. La vulnérabilité de ces classes peut évoluer par les effets conjugués de l'homme et les années pluviales.

La comparaison de cette carte de vulnérabilité avec les mesures de nitrates disponibles dans les eaux de la nappe montre que la carte est valide avec un taux de coïncidence de 52% entre les concentrations en nitrates disponibles et les différentes classes de vulnérabilité. Donc une étude pour la caractérisation de la sensibilité à la pollution de la nappe de Sidi Rached s'avère nécessaire pour établir une carte à la fois de vulnérabilité et de sensibilité.

Dans tous les cas, malgré les difficultés soulevées dans l'élaboration des cartes de vulnérabilité à la pollution par la méthode DRASTIC, n'alerte en rien sa fiabilité, elle permet toujours de se faire une idée assez précise

La carte de vulnérabilité établie par la méthode DRASTIC permet toujours de se faire une idée assez précise sur les zones vulnérables d'une région donnée en vue de prendre des dispositions de protection nécessaires.

REFERENCES

- [1]. Achi K. Salem A., Combes, P. Couchot, A., Grenet B., Pradines D., 1973 : Carte hydrogéologique d'Alger au 1/200 000, ANRH d'Alger.

[2]. AGROCOMPLET/ENERGOPROJET, 1978 : Schéma général de l'aménagement hydraulique de la Mitidja.

[3]. Al Hallaq, A. & Abu Elaish, B., (2008) "Determination of Mean Areal Rainfall in the Gaza Strip Using Geographic Information System (GIS) Technique", *Journal of Pure & Applied Sciences*, University of Sharjah, UAE, Vol. 5, No. 2, pp. 105-126

[4]. Al Hallaq, A. & Abu Elaish, B., (2011) "Determination of Groundwater Vulnerability Zones to Contamination in Khanyounis Governorate, Gaza Strip, Using the DRASTIC Model within GIS", *Journal of Social Sciences*, Umm Al-Qura University, Vol. 4 - N0.1, 55p.

[5]. Aller L, Benett T, Lehr JH, *et al.* Drastic: a standardized system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeologic settings. *National Water Well Association* 1987 ; Rapport EPA-600/2-87-035 ; 622 p.

[6]. A. T. Anani (2006): Evaluation et cartographie des zones vulnérables à la pollution de la nappe du Continental Terminal au niveau du District d'Abidjan (Sud de la Côte d'Ivoire), par les méthodes DRASTIC et GOD. Mémoire de DEA des Sciences de la Terre et des Ressources Minières, Université de Cocody, 71p.

[7]. CGG. Prospection géophysique de la plaine de Mitidja. ANRH d'Alger, 1967.

[8]. Ecrement Y., et Seghir B., 1971: Etude Agro pédologique de la plaine de la mitidja. Rapport Direction des Etudes, milieu et Rech. Hydraulique.

[9]. F. Fofana (2005) : Evaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe d'Abidjan selon les méthodes DRASTIC et GOD. Mémoire de DEA, Université d'Abobo- Adjamé, 68p.

[10]. HAMZA M.H., A. ADDED, R. RODRIGUEZ, S. ABDELJAOUED, A. BEN MAMMOU (2007). A GISbased DRASTIC vulnerability and net recharge reassessment in an aquifer of a semi-arid region (Metline-Ras Jebel-Raf Raf aquifer, Northern Tunisia). *J. Environ. Manage.*, 84,

[11]. Hamza M.A., A., Added, A. Frances, R., Rodriguez, M. Ajmi et S. Abdeljaoued (2008) : Évaluation de la vulnérabilité à la pollution potentielle de la nappe côtière alluvionnaire de Meltine-Ras Djebel-Raf Raf (Nord-est tunisien) selon les méthodes paramétriques DRASTIC, SINTACS et SI ». *Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science*, vol. 21, n° 1, 2008, p. 75-86.

[12]. Isabel D, Gelinat P, Aubrey F. Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines au Québec. *Rev Sc Tech Eau* 1990 ; 23 : 255-8.

[13]. J.P. Jourda, K. J. Kouamé, M. G. Adja, S. K. Deh, A. T. Anani, A. T. Effini, et J. Biémi (2007) : Evaluation du degré de protection des eaux souterraines : vulnérabilité à la pollution de la nappe de Bonoua (Sud-est de la Côte d'Ivoire) par la méthode DRASTIC. *Session Environnement/Eau*, 11p.

[14]. Mac Donald, M.et partners limited Cambridge, Anleterre en association avec W.S. Atkins et partners, BNEDER 1992 : Etude de l'aménagement hydro-agricole de la plaine de Mitidja.

[15]. Mac Donald, M.et partners limited Cambridge, Anleterre en association avec W.S. Atkins et partners, BNEDER 1997 : Etude de l'aménagement hydro-agricole de la plaine de Mitidja.

[16]. Menani MR. Étude hydrogéologique de la plaine d'El Madher (Algérie orientale) : géologie, climatologie, hydrogéologie et modélisation des écoulements souterrains de l'aquifère mio-plio-quaternaire. Thèse Doct. Univ. Nancy 1, Labo. GES, 1991 ; 409 p.

[17]. R. M. Mohamed (2001) : Evaluation et cartographie de la vulnérabilité à la pollution de l'aquifère alluvionnaire de la plaine d'El Madher, Nord-Est algérien, selon la méthode DRASTIC. Sciences et changement planétaires / sécheresse, vol. 12, n°2, pp. 95-101.

geosp.net