

ETUDE DE LA VULNERABILITE A LA POLLUTION DES EAUX DE LA NAPPE ALLUVIALE DE SKIKDA : APPLICATION DE LA METHODE DRASTIC.

Hicham CHAFFAI*, Rabah LAOUAR*, Larbi DJABRI* et Azzeddine HANI*

RÉSUMÉ

L'étude de la vulnérabilité des eaux à la pollution au moyen de la méthode DRASTIC présente l'avantage de combiner les sept paramètres suivants : la profondeur de l'eau (D), la recharge efficace (R), les matériaux de l'aquifère (A), le type de sol (S), la topographie (T), l'impact de la zone vadose (zone aérée) (I) et la perméabilité de l'aquifère (C). La cartographie de ces différents paramètres permet, après leur superposition, l'établissement de la carte de vulnérabilité. Cette méthode, appliquée à la nappe alluviale de Skikda, fait ressortir trois zones à vulnérabilité différentes : (1) une zone à faible vulnérabilité localisée à El Hadeïk, au centre de la région d'étude; (2) une zone à vulnérabilité moyenne, couvrant la majeure partie du terrain; et (3) une zone à forte vulnérabilité, située autour de la ville de Skikda au nord et dans la commune de Ramdane Djamel au sud.

Mots clés : DRASTIC - Nappe alluviale - Pollution - Vulnérabilité - Skikda - Algérie.

THE VULNERABILITY OF GROUNDWATER TO POLLUTION IN THE ALLUVIAL WATER-TABLE OF SKIKDA: AN APPLICATION OF THE DRASTIC METHOD.

ABSTRACT

The study of the vulnerability of groundwater to pollution by means of the DRASTIC method has the advantage of combining the following seven parameters: the depth of groundwater (D), the recharge rate (R), the aquifer media (A), the soil media (S), the topography (T), the impact of the vadose zone (I) and the hydraulic conductivity (C) of the aquifer (C). Mapping of the different parameters allows, after superposition, to draw the vulnerability map. This method is applied to the alluvial water-table of Skikda and the results show three zones vulnerability rates: (1) a zone of low vulnerability located at El Hadeik; (2) a zone of moderate vulnerability, covering the major part of the study area; and (3) a zone of high vulnerability, located around Skikda town in the north and Ramdane Djamel in the south.

Key words - DRASTIC - Water-table - Pollution - Vulnerability - Skikda - Algeria.

*Département de Géologie, Faculté des Sciences de la Terre, Université Badji Mokhtar Annaba, B.P. 12. 23000 Annaba, Algérie.

- Manuscrit déposé le 19 Janvier 2005, accepté après révision le 20 Avril 2005.

I - INTRODUCTION

La vulnérabilité des aquifères à la pollution, dans une région donnée, résulte d'une combinaison de plusieurs facteurs, à savoir : l'hydrogéologie, la réaction aquifère-contaminant et les sources de pollution. Dans ce sens, la méthode, dite DRASTIC, est appliquée à la nappe alluviale de Skikda, située au nord-est de l'Algérie (fig. 1).

La géologie de la région d'étude (Skikda) est caractérisée par :

1- un socle métamorphique d'âge Paléozoïque composé de phyllades, de séricitoschistes, de lentilles de quartz centimétriques et de quartzites, greywakes, et aleurolites (Mahjoub et Verle, 1990; Mahjoub, 1991; Mahjoub *et al.*, 1997);

2- le Lias à faciès carbonaté pseudoolithique avec des niveaux de dolomies et de calcaires marmorisés massifs. La partie supérieure est formée par des argiles avec des passées de calcaires et dolomies (Joleaud, 1907);

3- le Jurassique avec des argillites à passées de calcaires et grès (Deleau, 1938; Raoult et Mouterde, 1969);

4- le Crétacé essentiellement de l'albo-aptien grés-argileux (Colom *et al.*, 1954);

5- le Quaternaire est représenté par (1) des dépôts de sables éoliens à la base, reposant sur les formations jurassiques-crétacées, (2) des dépôts alluviaux avec des sables et des galets, et (3) des dépôts delluviaux à limons, arènes, graviers et cailloutis avec des blocs de roches préexistantes.

Le climat de la région est méditerranéen avec des précipitations moyennes de l'ordre de 660 mm/an, une évapotranspiration estimée à 480 mm/an, un ruissellement de 100 mm/an, ce qui laisse une infiltration d'environ 80 mm/an. La plaine alluviale de Skikda est parcourue par deux oueds importants, Saf-Saf et Zeramna, qui se déversent dans la mer Méditerranée. L'étude hydrogéologique a mis en évidence deux nappes aquifères dans les formations quaternaires : l'une

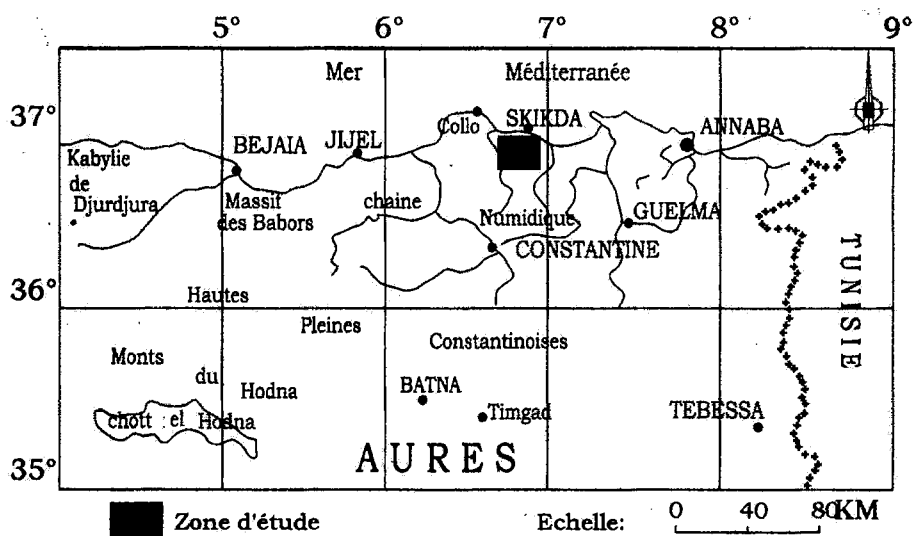


Fig. 1 - Situation géographique de la région de Skikda
Location map of the Skikda region

ETUDE DE LA VULNÉRABILITÉ À LA POLLUTION DES EAUX DE LA NAPPE ALLUVIALE DE SKIKDA :
APPLICATION DE LA MÉTHODE DRASTIC

superficielle constituée de sables, de cailloutis et d'argiles sableuses, l'autre captive composée essentiellement de graviers.

La méthode DRASTIC (Aller *et al.*, 1987) développée aux Etats-Unis par «U. S. Environmental Protection Agency» et utilisée par plusieurs auteurs (Hearne *et al.*, 1992; Atkinson et Thomlinson, 1994; Kalinski *et al.*, 1994; Shamsuddin, 2000; Djabri *et al.*, 2001) reflète une approche préventive à la pollution. Cette méthode exige la caractérisation détaillée des unités hydrogéologiques de la région, notamment la définition des sept paramètres physiques qui sont d'ailleurs à l'origine de l'appellation DRASTIC et interviennent dans les phénomènes de transport et atténuation des contaminants.

L'importance relative de chaque facteur est évaluée par un poids fixe variant d'une valeur de 5 pour les facteurs les plus significatifs à une valeur de 1 pour les facteurs qui le sont moins (tableau I). Chaque paramètre se voit attribuer une côte variant entre 1 et 10 en fonction des conditions locales : les conditions favorables procurent des côtes basses et les conditions défavorables (celles qui augmentent la vulnérabilité) procurent des côtes élevées.

La vulnérabilité des eaux de la nappe alluviale de Skikda est évaluée au moyen de l'indice DRASTIC qui est un indice numérique représentant la somme pondérée des 7 côtes correspondant aux 7 paramètres hydrogéologiques décrits ci-dessous. L'indice local est obtenu en multipliant la côte de chaque paramètre par son poids relatif et en faisant la somme de ces produits :

$$\text{Indice DRASTIC} = Dc.Dp + Rc.Rp + Ac.Ap + Sc.Sp + Tc.Tp + Ic.Ip + Cc.Cp$$

où :

Dc : côte du paramètre D "Depth" et Dp : poids paramètre D "Depth"

L'indice ainsi calculé représente une évaluation du niveau de risque de contamination d'une formation aquifère, ce risque augmente avec les valeurs de l'indice.

II - TRACÉ DES CARTES

Pour chacun des paramètres DRASTIC est établie une carte sur laquelle sont délimitées des zones en fonction des intervalles préconisés par le système de cotation DRASTIC. La carte de synthèse est le résultat de la superposition des

Tableau I - Les paramètres DRASTIC et leurs poids respectifs.

DRASTIC parameters and their corresponding weights.

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

sept cartes thématiques relatives aux paramètres DRASTIC.

1 - Profondeur de l'eau (D)

Ce paramètre est important car le transport des polluants et leur évolution dans le sol et le sous-sol sont déterminés en connaissant en premier lieu la profondeur de la nappe. L'observation de la carte de profondeur de l'eau de Septembre 2002 (fig. 2) permet de dégager cinq (05) profondeurs différentes variant de 4.5 m à 31 m et plus. Ces profondeurs sont de 9 m à 15

m aux alentours de Skikda et d'El Hadeik, elles deviennent plus importantes au sud et dépassent 31 m à Bouchtata Mahmoud et à Ramdane Djamel. La méthode DRASTIC attribue à la profondeur de la nappe un poids de 5. Ainsi, le système de cotation affecté à cette profondeur est représenté dans le tableau II.

2 - Recharge efficace (R)

L'infiltration est la quantité d'eau franchissant la surface du sol. Elle renouvelle les réserves d'eau souterraine et entretient le débit de l'écoule-

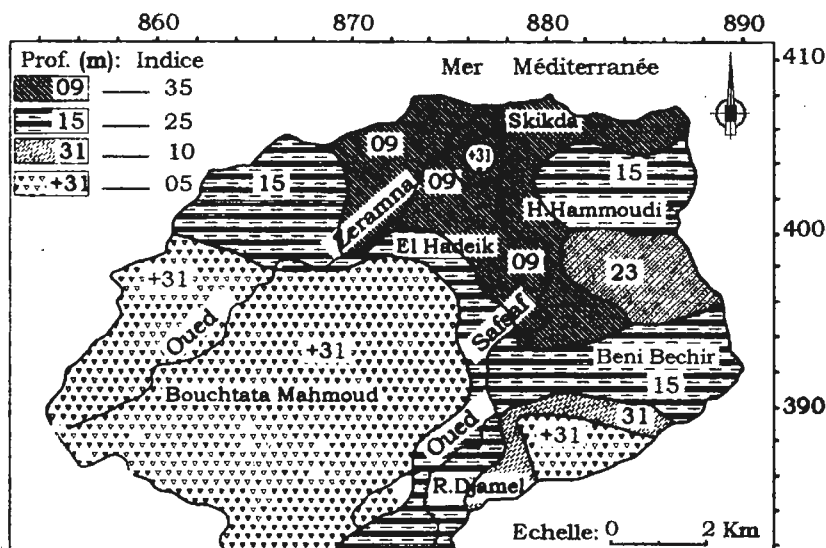


Fig. 2 - Carte de la profondeur de l'eau et des indices correspondants
Map of recharge rate and corresponding indexes

Tableau II - Cotation du paramètre profondeur de l'eau.
Quotation of water depth parameter.

Profondeur de l'eau (m)	Lieu	Dc	Dp	Dc x Dp
4.5 – 9	Région de Skikda, El Hadeik	7	5	35
9 – 15	Est et W. de Skikda, Beni Bechir	5	5	25
15 – 23	Région de H. Hammoudi	3	5	15
23 – 31	Alentours de R. Djamel	2	5	10
+ 31	En majorité à Bouchtata M.	1	5	5

ÉTUDE DE LA VULNÉRABILITÉ À LA POLLUTION DES EAUX DE LA NAPPE ALLUVIALE DE SKIKDA :
APPLICATION DE LA MÉTHODE DRASTIC

ment souterrain des sorties après circulation dans les formations hydrogéologiques perméables du sous sol (Castany, 1982). L'observation de la carte de la recharge (fig. 3) montre que l'infiltration est la même sur toute la plaine alluviale de Skikda. Les calculs effectués ont donné une valeur moyenne de l'infiltration efficace de 72 mm. La méthode DRASTIC attribue un poids de 4 à la recharge efficace pour l'intervalle se situant à plus 25 mm. Ce paramètre est reporté au tableau III.

La carte des matériaux de l'aquifère (fig. 4) se distingue par la domination de deux faciès principaux : les sables, dans la partie nord-ouest de la plaine et les graviers au Sud-Est. La présence de petits niveaux d'argiles sableuses à l'ouest de Beni Bechir et des galets et graviers à l'est de Ramdane Djamel est cependant observée. La méthode DRASTIC attribue un poids de 3 aux matériaux de l'aquifère, ce paramètre figurant dans le tableau IV met en évidence la dominance de l'indice 24 sur toute la plaine alluviale de Skikda.

3 - Matériaux de l'aquifère (A)

La détermination de ce paramètre résulte de la combinaison des données de forages et de géophysio-

4 - Type de sol (S)

La surface du sol de part sa nature perméable constitue une zone d'échange importante avec

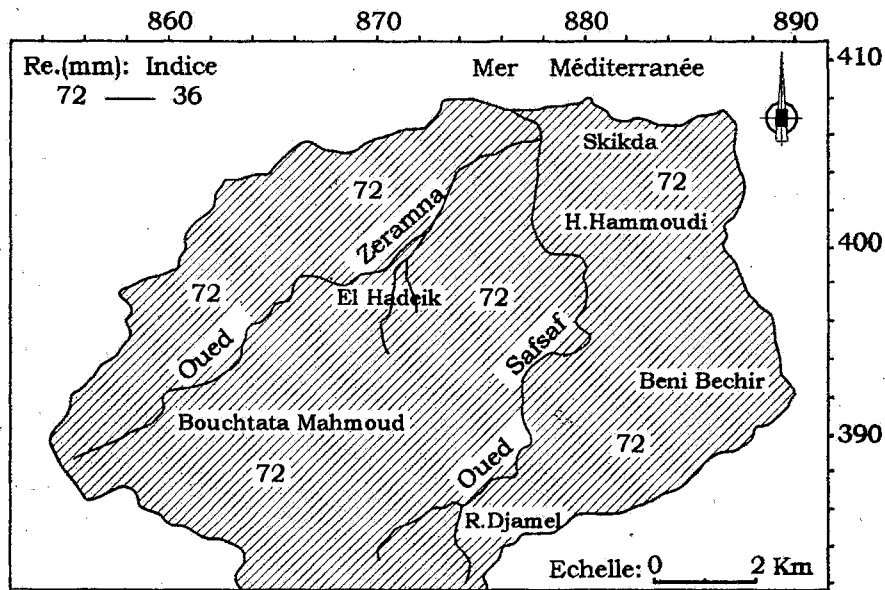


Fig. 3 - Carte de la recharge efficace et des indices correspondants
Map of recharge rate and corresponding indexes

Tableau III - Cotation du paramètre recharge de l'aquifère.
Quotation of recharge rate parameter of the aquifer.

Intervalle	Lieu	Rc	Rp	Rc × Rp
+ 25 mm	Toute la plaine alluviale de Skikda	9	4	36

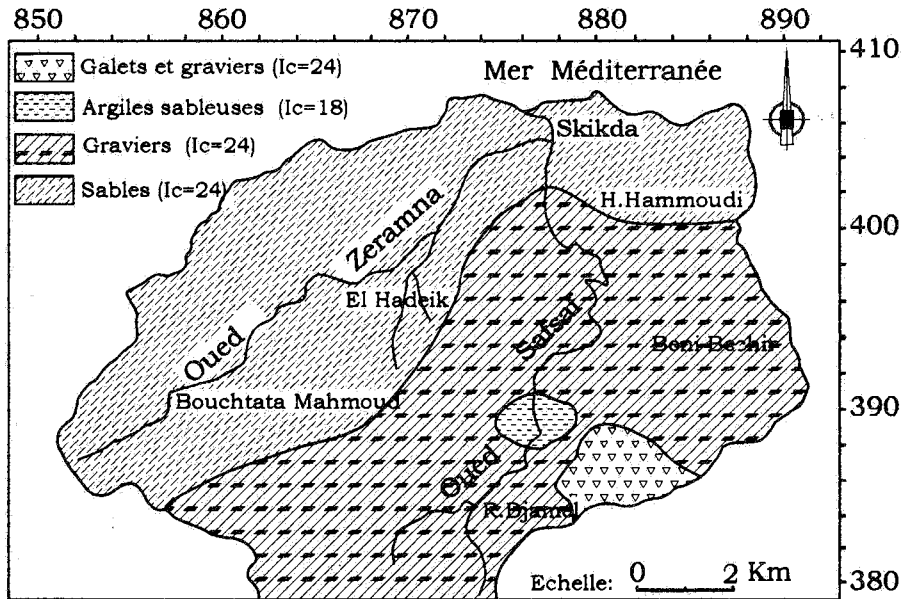


Fig. 4 - Carte des matériaux de l'aquifère et des indices correspondants
Map of aquifer media and corresponding indexes

Table IV - Cotation du paramètre matériaux de l'aquifère.
Quotation of the aquifer media parameter.

Nature du milieu aquifère	Lieu	Ac	Ap	Ac x Ap
Galets et graviers	Affleurement à l'est de R. Djamel	8	3	24
Argiles sableuses	Localisation au nord de R. Djamel	6	3	18
Graviers	Vallée de L'oued Safsaf	8	3	24
Sables	Vallée de L'oued Zeramna	8	3	24

ETUDE DE LA VULNÉRABILITÉ À LA POLLUTION DES EAUX DE LA NAPPE ALLUVIALE DE SKIKDA :
APPLICATION DE LA MÉTHODE DRASTIC

la nappe. Elle fait introduire et évoluer la pollution vers les eaux souterraines. La carte du type de sol (fig. 5) fait ressortir les cailloutis et graviers aux abords des oueds Zeramna et Safsaf. Les sables dominent la moitié nord-ouest de la plaine et les argiles occupent la partie sud-est de la

région d'étude. La méthode DRASTIC attribue à ce paramètre un poids de 2, considéré comme étant faible. Les indices correspondants représentés au tableau V sont différents et traduisent les trois types de sols dominants la région.

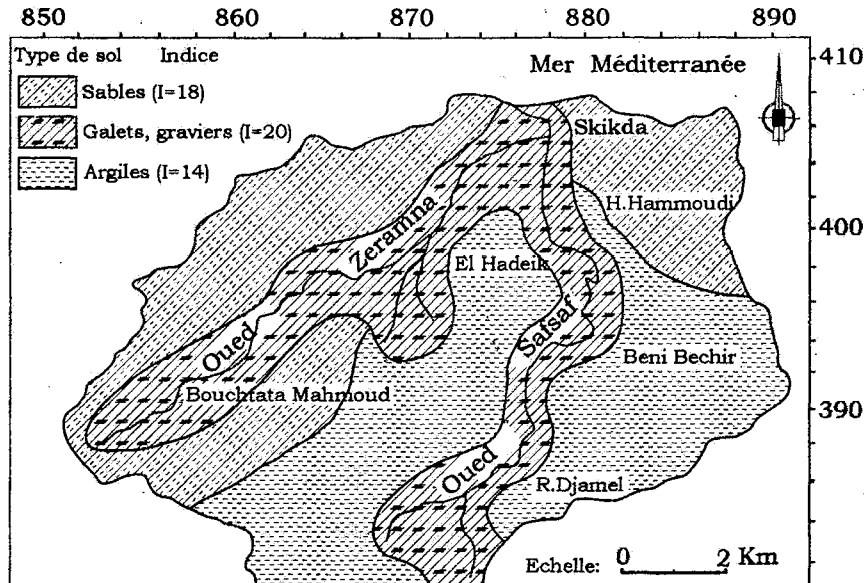


Fig. 5 - Carte de type de sol et des indices correspondants
Map of the soil media and corresponding indexes

Tableau V - Cotation du paramètre type de sol.
Quotation of the soil media parameter.

Nature du sol	Lieu	Sc	Sp	Sc x Sp
Sables	Partie N. W. de la région	9	2	18
Galets, graviers	Abords des oueds Zeramna et Safsaf	10	2	20
Argiles	Partie S. E. de la région	7	2	14

5 - Pente du terrain (T)

La pente du terrain influe directement sur l'infiltration efficace et par conséquent sur la propagation d'un contaminant. La délimitation des zones (fig. 6) a été établie à partir de la carte topographique à l'échelle 1/50 000 et fait ressortir trois intervalles différents variant de

6% à plus 18%. La pente du terrain se voit attribuer par la méthode DRASTIC un poids très faible (1) par rapport aux autres paramètres. Le système de cotation attribué à la topographie est représenté au tableau VI. On remarque que l'indice correspondant évolue dans le sens inverse de la pente du terrain.

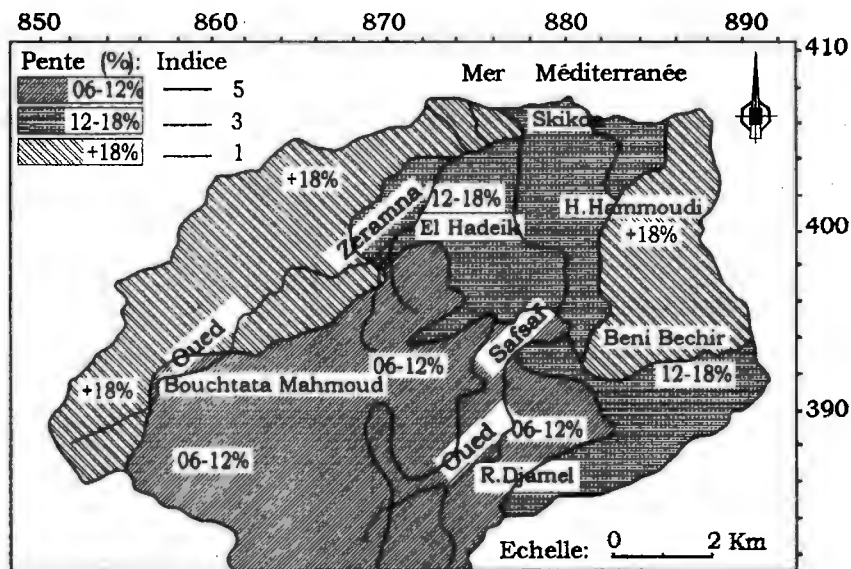


Fig. 6 - Carte de la pente du terrain et des indices correspondants
Map of field slope and corresponding indexes

Tableau VI - Cotation du paramètre topographie.
Quotation of the topography parameter.

Pente du terrain	Lieu	Tc	Tp	Tc x Tp
6 % à 12 %	Sud d'El Hadeik, Bouchtata M. et R. Djamel	5	1	5
12 % à 18 %	Sud de Skikda, Sud de Beni Bechir	3	1	3
+ 18 %	Partie nord à l'est et l'ouest de Skikda	1	1	1

ETUDE DE LA VULNÉRABILITÉ À LA POLLUTION DES EAUX DE LA NAPPE ALLUVIALE DE SKIKDA :
APPLICATION DE LA MÉTHODE DRASTIC

6 - Impact de la zone vadose (I)

La zone vadose (non saturée) constitue la partie comprise entre la surface du sol et l'aquifère. Elle conditionne la facilité de transport des polluants vers la nappe. L'impact de la zone vadose est considéré comme étant un paramètre important par la méthode DRASTIC. Il a un poids de 5, car la nature et l'épaisseur de la zone aérée située au-dessus du niveau des eaux

souterraines contrôlent dans une certaine mesure la vulnérabilité à la pollution des aquifères. La carte de la zone vadose (fig. 7) montre une domination des sables de bonne perméabilité surtout en amont des oueds Zeramna et Safsaf. Le tableau VII donne les indices correspondant aux sables et argiles qui occupent toute la région et les graviers et les sables qui se localisent au sud de la commune d'El Hadeïk.

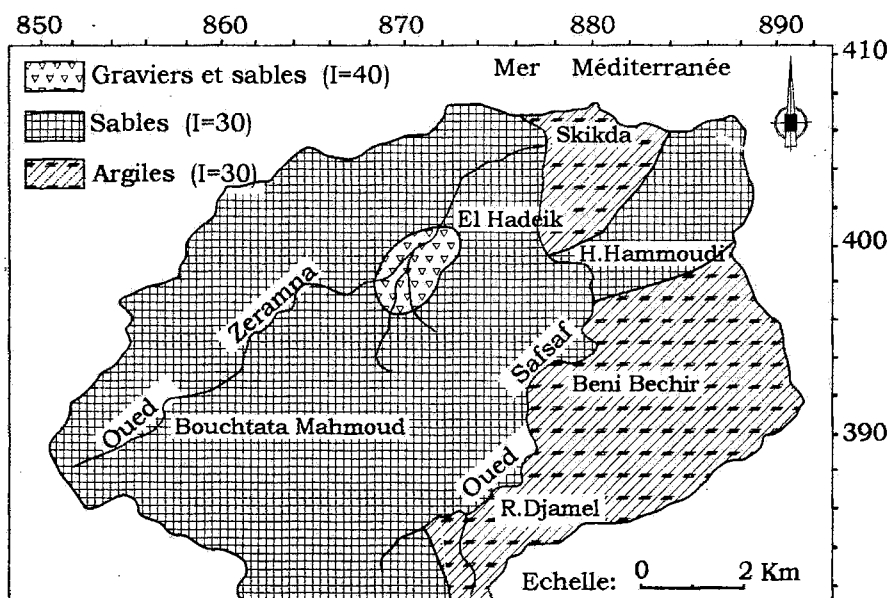


Fig. 7 - Carte de la zone vadose et des indices correspondants
Map of vadose zone and corresponding indexes

Tableau VII - Cotation du paramètre impact de la zone vadose.
Quotation of the vadose zone effect parameter.

Impact de la zone vadose	Lieu	Ic	Ip	Ic x Ip
Sables, argiles	Toute la région d'étude	6	5	30
Graviers et sables	Sud d'El Hadeïk	8	5	40

7 - Conductivité hydraulique (C)

La dispersion d'un contaminant vers la nappe est facilitée par la perméabilité du terrain. Les perméabilités sont estimées par $K = T/e$ à partir des épaisseurs de la nappe (e) et les transmissivités (T) des essais par pompage. L'observation de la carte de perméabilité (fig. 8) montre trois classes différentes qui varient de 0.04 à 25 m/j. La méthode DRASTIC attribue un poids moyen de 3 à la perméabilité. Les indices pour ce paramètre sont reportés dans le Tableau 8. On remarque pour ce paramètre que l'indice 12 concerne la partie amont des oueds Zeramna et Safsaf, ainsi que l'est de la commune de H. Hammoudi.

III - ETABLISSEMENT DE LA CARTE DE VULNERABILITE

La carte de vulnérabilité est le résultat de la superposition des sept cartes thématiques relatives aux paramètres DRASTIC (fig. 9). Cette carte de vulnérabilité de la nappe alluviale de Skikda permet de visualiser les principales zones à risque qui sont liées à des indices élevés. Selon la méthode DRASTIC, les plages de vulnérabilité basée sur la classification de l'"U. S. Environmental Protection Agency" sont définies comme suit : (1) vulnérabilité faible : $I < 100$; (2) vulnérabilité moyenne : $100 < I < 150$; et (3) vulnérabilité forte : $I > 150$. Les calculs des indices DRASTIC correspondants montrent

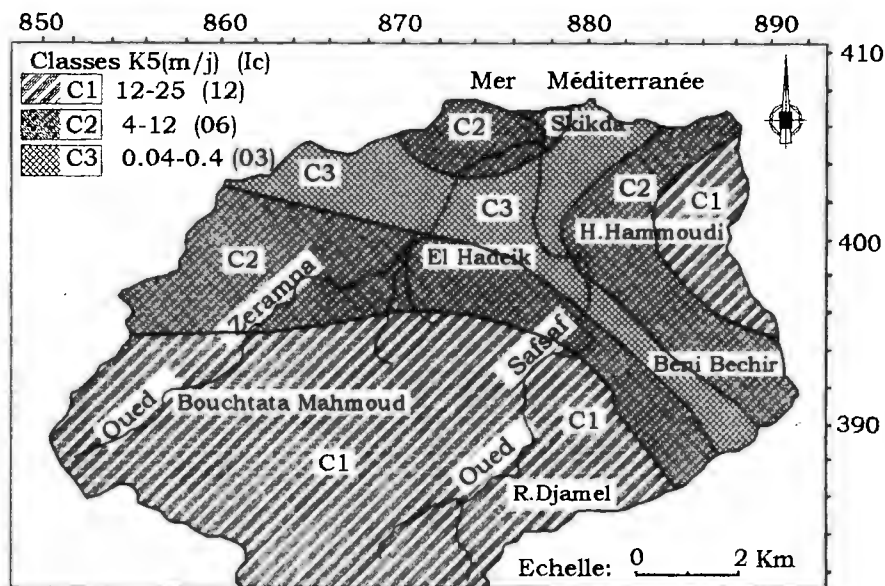


Fig. 8 - Carte de la perméabilité (m/j) et des indices correspondants
Map of permeability (m/day) and corresponding indexes

Tableau VIII - Cotation du paramètre conductivité hydraulique.
Quotation of the hydraulic conductivity parameter.

Conductivité hydraulique (m/j)	Lieu	Cc	Cp	Cc x Cp
0.04 à 0.4	S. W. et S. E. de Skikda	1	3	3
0.4 à 12	El Hadeik, de l'ouest au S. E.	2	3	6
12 à 25	Bouchtata M. et R. Djamel	4		12

ETUDE DE LA VULNÉRABILITÉ À LA POLLUTION DES EAUX DE LA NAPPE ALLUVIALE DE SKIKDA :
APPLICATION DE LA MÉTHODE DRASTIC

des valeurs oscillant entre 100 et 164. L'observation de la carte de vulnérabilité (fig. 10) met en évidence la dominance de la classe 2 ($100 < I < 150$), ce qui indique une moyenne vulnérabilité à la pollution dans la majeure partie de la plaine. Une faible vulnérabilité localisée au sud de la

commune d'El Hadeïk et une forte vulnérabilité aux alentours de la ville de Skikda et dans la commune de R. Djamel sont observées. Cette forte vulnérabilité s'explique par la lithologie sableuse du terrain, par la perméabilité et par la nature libre de la nappe.

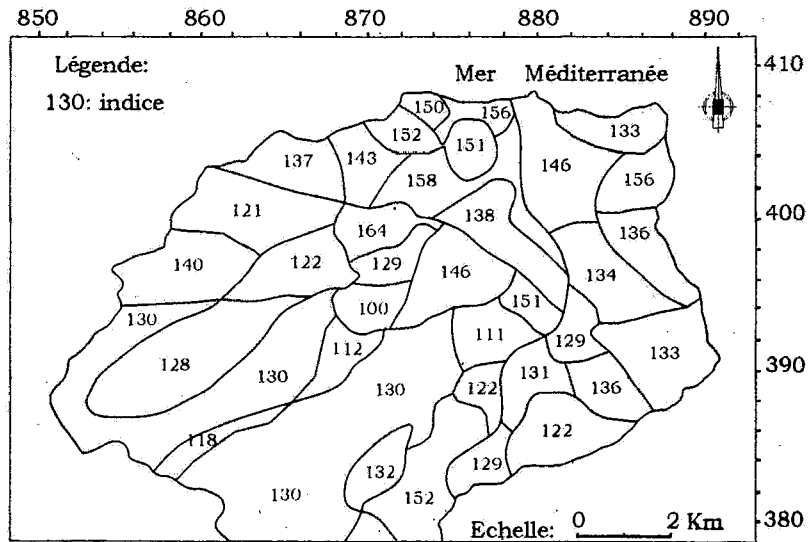


Fig. 9 - Carte des indices DRASTIC

Map of DRASTIC indexes

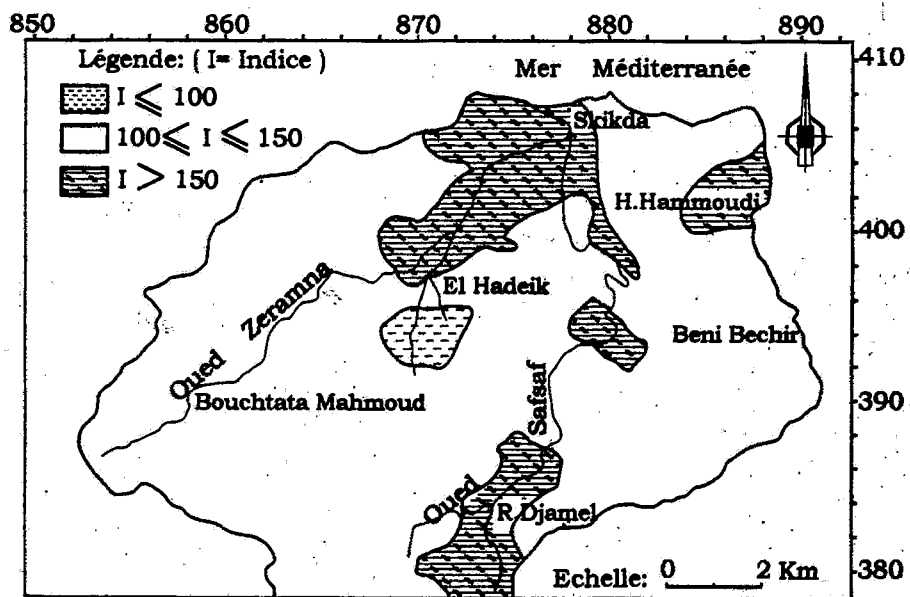


Fig. 10 - Carte de vulnérabilité

Vulnerability map

IV - CONCLUSION

La méthode DRASTIC appliquée à la plaine alluviale de Skikda a permis d'établir la carte de vulnérabilité des eaux souterraines de la région étudiée. Cette carte réalisée à partir des paramètres dynamiques et statiques a montré que la nature lithologique de la nappe ainsi que la pente plus faible au milieu de la plaine favorisent une bonne recharge efficace. Ceci accentue la vulnérabilité de la plaine à la pollution. Par ailleurs, il faut admettre la relation que peuvent avoir les cours d'eau principaux avec le système aquifère de la région en cas de contamination, sachant que les oueds sont drainés par la nappe en période de basses eaux.

Remerciements : H. C. exprime ses remerciements à M. Mechtouf A. pour son assistance sur terrain. Notre gratitude s'adresse aux responsables des services DHW et ANRH de la wilaya de Skikda. Les auteurs présentent leurs sincères remerciements au Pr. M. Mesbah pour la révision de l'article et les critiques constructives.

BIBLIOGRAPHIE

- ALLER, L. T., BENNETT, T., LEHR, J. H., PETTY, R. J. ET HACKETT, G., 1987. A standardized system for evaluating groundwater pollution potential using hydrogeologic settings. *U.S. Environmental Protection Agency /600/2-87/035, Washington, DC., 455 p.*
- ATKINSON, S. F. ET THOMLINSON, J. R., 1994. An examination of groundwater pollution potential through GIS modelling. *ASPRS/ACSM.*
- CASTANY, G., 1982. Principes et méthodes de l'hydrogéologie. *Ed. Dunod, 643 p.*
- COLOM, G., CASTANY, G. ET DURANT DELGA, M., 1954. Microfaunes pélagiques (Calpionnelles, Fissurines) dans le Nord Est de la Berbérie. *Bulletin du Service Géologique de France, (6), III, pp. 517-533.*
- DELEAU, P., 1938a. Le Jurassique supérieur dans le Tell Constantinois au Kef Sebgoud (Chaîne Numidique). *Comptes Rendus Sommaires du Service Géologique de France, pp. 11.*
- DJABRI, L., HANI A., GUERFIA, S., SOUAG, M. ET MANIA, J., 2001. La méthode DRASTIC. un moyen moderne pour l'étude de la vulnérabilité des nappes. Application aux nappes superficielles Guelma-Boucheougouf-Annaba. *Revue EDIL Inf-EAU n°27, pp 4-9.*
- HEARNE, G. A., WIREMAN, M., CAMPBELL, A., TURNER, S. ET INGERSOLL, G. P., 1992. Vulnerability of the uppermost groundwater to contamination in Greater Denver area. Colorado. *U.S.G.S. Water-Resources Investigation 92-4143.*
- JOLEAUD, L., 1907. Carte géologique avec notice de Condé Smendou (Feuille n°52) au 50 000.
- KALINSKI, R. J., KELLEY, W. E., BOGARELI, I., EHRMAN, R. L., ET YAMAMOTO, P. D., 1994. Correlation between DRASTIC vulnerabilities and incidents of VOC contamination of municipal wells in Nebraska. *Groundwater, 32, N° 1, 31-34 p.*
- MAHJOUB, Y., 1991. Cinématique des déformations et évolution P-T anté alpine et alpine en petite Kabylie (Algérie nord orientale). Un modèle d'évolution du domaine tellien interne. *Thèse d'Etat, U.S.T.H.B. Alger, 186p.*
- MAHJOUB, Y., ET MERLE, O., 1990. Cinématique des déformations tertiaires dans le massif de Petite Kabylie (Algérie orientale). *Bulletin de la Société Géologique de France, 8 (4), pp. 629-634.*
- MAHJOUB, Y., CHOUKROUNE, P. ET KIENAST, J.R., 1997. Kinematics of a complex Alpine segment: superimposed tectonic and metamorphic events in the Petite Kabylie massif (northern Algeria). *Bulletin de la Société Géologique de France, 8, pp. 649-661.*
- RAOULT, J.F. ET MOUTERDE, R., 1969. Nouvelles données sur les séries secondaires du Kef M'Souna et du Kef Sebgoud (Nord du Constantinois). *Bulletin du Service Géologique de l'Algérie, (Nlle série), n° 39, pp. 171-188.*
- SHAMSUDDIN, S., 2000. A study of groundwater pollution vulnerability using DRASTIC/GIS. west Bengal, India. *Journal of Environmental Hydrology, 8, 1-9 p.*