

DETERMINATION DE LA VULNERABILITE DES EAUX A LA POLLUTION PAR DIFFERENTES METHODES : APPLICATION A LA NAPPE PHREATIQUE DE BISKRA SUD ALGERIEN.

N.BOUCHAHM*, R. SLIMANI*, W.CHAIB*, A.REZEG*, L. BENAOUA*, DJABRI**.

*Chercheurs CRSTRA Division Eau et sols. Bp 1682 Biskra 07000

**Université d'Annaba. Département de Géologie/Chercheur associé au CRSTRA.

RESUME

La vulnérabilité des eaux à la pollution devient de plus en plus préoccupante particulièrement dans les zones caractérisées par des activités anthropiques polluantes telles que l'agriculture et l'industrie. La plaine de Biskra objet de notre étude, en est une parfaite illustration. Les méthodes d'études sont nombreuses et souvent redondantes, car prenant en considération les mêmes paramètres. Pour éviter toutes ambiguïtés, nous avons utilisé trois méthodes (GOD, DRASTIC, CONTRAINTES OCCUPATIONS DU SOL), ce qui nous permettra de comparer les résultats obtenus à partir des trois méthodes.

La méthode GOD, simple, est basée sur trois paramètres, ce qui nous a permis de dresser une carte montrant trois zones à vulnérabilité distincte.

La méthode DRASTIC, repose sur l'utilisation de sept paramètres, elle est donc plus complète que la précédente. La carte établie montre également la présence de trois zones à vulnérabilité distincte.

La troisième méthode basée sur l'occupation du sol montre également trois zones dont la vulnérabilité diffère.

Nous remarquons que les trois cartes établies montrent la même répartition des classes de vulnérabilité, aussi cette convergence des classes reste un atout important pour le chercheur et pour le décideur. En effet la zone d'étude reste exposée à une pollution provoquée par un assainissement défaillant. Les habitats collectifs nouvellement construits déversent leurs eaux usées dans des champs cultivés, ce qui accroît considérablement les risques de pollution. En l'absence d'un réseau d'assainissement assurant l'évacuation de ces eaux usées, celle-ci sont ainsi refoulées vers la plaine là où la nappe est peu profonde.

L'activité industrielle reste concentrée dans la partie Ouest de la région. L'agriculture intensément pratiquée à Biskra, génératrice de pollution, occupe une grande partie de la zone d'étude.

Les résultats obtenus donnent un aperçu de l'état de la vulnérabilité à la pollution dans une zone très sollicitée, ce qui demande une surveillance accrue de la qualité des eaux de la région.

Mots clés : Sud Algérien, Zones arides, Vulnérabilité, GOD, DRASTIC, Contraintes occupation des sols

Determination of the water vulnerability to pollution by various methods: application on the groundwater of Biskra, Algerian southern.

Abstract:

The vulnerability of water to pollution is being increasingly worrisome especially in zones characterized by polluting anthropogenic activities such as agriculture and industry. The plain of Biskra represents a perfect illustration of these activities. The research methods are several and often iterative in order to avoid any ambiguity, we used three methods (GOD, DRASTIC, SOIL OCCUPATION CONSTRAINTS).

The method called "GOD" is simple and based on three parameters, due to this fact; we draw up a map that represents three different vulnerable zones.

The method called "DRASTIC" consists of seven parameters and is more complete than the previous one. The present map shows also three different vulnerable areas.

The third method based on the land shows also three different vulnerable areas. We notice that the three maps depicted the distribution of vulnerable classes, this convergence of classes remains an

important asset for researchers and decision makers because the study area is exposed to pollution caused by a faulty sanitation, the newly cities discharge their sewage at the crops, which increases the risk of pollution. Indeed, the lack of sanitation system in order to ensure the sewage disposal hence, they are returned to the plains where the groundwater is shallow.

The industrial activity is concentrated in the western part of the region. The intensive agriculture carried out in Biskra which generating pollution represents a large part of the study area.

The results provide an overview of the vulnerable area condition affected by the pollution, which require a huge monitoring of water quality in the region.

Keywords: *Arid zones, vulnerability, G.O.D, D.R.A.S.T.I.C, Soil occupation constraints*

INTRODUCTION :

La déclaration commune faite lors des rencontres qui se sont déroulées en 2004, respectivement à Malaga (Espagne) et à Marrakech (Maroc), stipule que : « L'eau doit être l'objet de politique de gestion et de protection assurant l'innocuité des activités potentiellement polluantes. En ce sens, le contrôle des exploitations, la cartographie de la vulnérabilité et du risque de contamination, ainsi que la délimitation de périmètres de protection sont des outils efficaces pour protéger les eaux souterraines. Il convient, d'implanter des réseaux de contrôle et de surveillance comme indicateurs qui facilitent la bonne gestion et la préservation des eaux ».

Cette déclaration vient renforcer un concept déjà assez ancien. En effet la cartographie de la vulnérabilité des nappes d'eau souterraine date des années 1970, quand les scientifiques se sont aperçus que les risques de pollution de la ressource en eau se posent avec acuité.

Plusieurs méthodes permettent la mise en évidence de la vulnérabilité des eaux à la pollution, pour la réalisation de notre travail, nous allons combiner les résultats obtenus à partir de la combinaison des trois méthodes suivantes, la méthode dite GOD, basée sur les informations données par trois paramètres. La méthode DRASTIC, qui prend en considération sept paramètres donc plus complète que la précédente. La troisième méthode dite contraintes occupations des sols, est basée sur la réalité du terrain.

En effet ALBINET & MARGAT, en 1970 ont élaboré des cartes visant à la conservation et à la protection des eaux souterraines en France sur des bases géologiques et les infiltrations. Plus tard des outils plus élaborés basés sur des traitements multicritères intégrant l'hydrogéologie, l'occupation des sols et les activités anthropiques à risque ont été réalisés, à ce titre on peut citer l'élaboration des cartes de vulnérabilité établies au Guatemala (MUNOZ & LANGEVIN, 1971). Dans ce dernier cas, les auteurs établissent des limites ou seuils correspondant à quatre classes de sensibilité. Les contraintes industrielles et urbaines se font de plus en plus pressantes par la dégradation qualitative des ressources en eau,

avec des situations d'urgence où la coïncidence spatiale entre sources de contamination et zone de prélèvement très fréquente ont abouti à l'élaboration de méthodes tenant compte de plusieurs paramètres.

Les sources de vulnérabilité des eaux à la pollution ne sont pas identiques, ce qui a impliqué une multiplicité des méthodes élaborées, à titre indicatif en zone rurale de moyenne montagne, la méthode utilisée par MANIA & al. (1998), basée sur la définition des unités agro-pédologiques, ce qui a contribué à améliorer la cartographie des aptitudes des sols du Jura Français, à recevoir divers épandages et fertilisants.

En zone karstique le concept de vulnérabilité diffère totalement des concepts classiques il est basé sur la zonation de la connectivité hydrologique, de la couverture pédologique et sur les conditions d'infiltration qui ont permis d'élaborer la méthode PIK dans le Jura suisse (DOERFLIGER & ZWAHLEN, 1998). La méthode DRASTIC élaborée par Aller et al. (1987), constitue une autre solution intermédiaire qui nécessite en plus des paramètres classiques évoqués dans la littérature, la connaissance de certains polluants et la conductivité hydraulique, ce qui permet d'aboutir à un indice numérique objectif.

Chez nous en Algérie plusieurs travaux ont porté sur la cartographie de la vulnérabilité des eaux à la pollution, et différentes méthodes ont été utilisées. A titre indicatif nous citons Boulaibaiz (2006), qui a utilisé avec succès, la méthode du GOD, pour l'étude du risque de pollution dans la plaine de Skikda. La méthode DRASTIC, reste la plus utilisée, nous donnons comme exemple MENANI (2001), dont les travaux ont porté sur la région d'El MADHER (Batna) et CHAFFAI (2006), qui a testé cette méthode sur la plaine de Skikda.

La méthode COS (Contraintes des Occupations du Sol) utilisée en Algérie par DJABRI & al (2003), présente la particularité de prendre en considération toutes les sources de pollution potentielle, ce qui donne un aperçu assez précis

sur les risques de pollution des eaux valables pour un temps fini car liés aux activités anthropiques. La collecte et la compilation de ces informations permettront d'étudier les mécanismes de vulnérabilité des eaux à la pollution selon les trois méthodes suivantes GOD, DRASTIC et COS, qui ont été testées avec succès dans d'autres régions. La ville de Biskra et à l'instar des grandes villes Algériennes a connu un développement industriel,

I- Cadre de la région d'étude :

*Géographie et géologie de la région d'étude :

Biskra est limitée au Nord par la wilaya de Batna, au Sud par les wilayas de Ouargla, d'El Oued, et de Laghouat, à l'Est par la wilaya de Khenchela et

agricole et urbain important, ce qui s'est répercuté sur son environnement. De ce fait nous allons élaborer la carte de vulnérabilité à la pollution selon les trois méthodes citées ce qui nous permettra de comparer les résultats et proposer des solutions pour la protection de la ressource en eau de cette région.

à l'Ouest les wilayas de Djelfa et M'sila (Fig.1). Elle se caractérise par des terrains sédimentaires, allant du Barrémien à la base jusqu'au quaternaire calcaro-gypseux avec des alluvions sableuses et argileuses tandis que le Tertiaire est formé de bancs de grès et d'argiles sableuses ainsi que des formations carbonatées. La tectonique de la région est très cassante avec présence de failles et de plis.

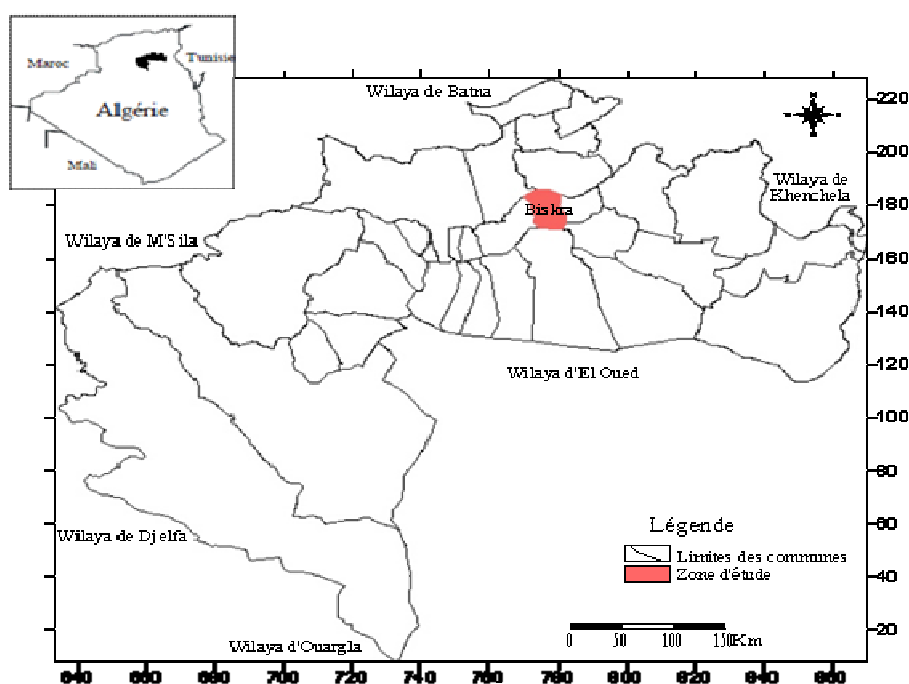


Fig. 1 : Situation géographique de la région de Biskra.

*Les facteurs climatiques, leurs variations et leurs impacts sur les aquifères :

A- Précipitations:

La station météorologique de la ville de Biskra a servi de référence. Les données recueillies se rapportent à deux épisodes différents. Le premier s'étale de 1974 à 1989 et le second couvre 1990

à 2000. Le mois de Novembre avec 12,9 mm reste le plus pluvieux par contre au cours de la deuxième période c'est le mois de Janvier (avec 21.8 mm) qui domine.

Tableau 1: Précipitations moyennes mensuelles (ONM 2006).

Station	Période	Jan	Fev	Mars	Avr	Mai	Jui	Juil	Aout	Sep	Oct	Nov	Dec
Biskra	1974-1989	8.8	8.53	10.9	7.8	11.1	8,0	0.6	3.2	11.1	8.1	12.9	6.9
	1990-2000	21.8	12.18	14.2	15.7	8.8	3.7	0.75	5.78	16.5	10.3	21.7	11.8

Les bilans calculés indiquent un déficit, ce qui contribue à accroître les risques de pollutions par insuffisance de dilution.

*Les aquifères de la région :

Le sous-sol de la région recèle d'importants aquifères dont la délimitation reste mal connue, le dépouillement des données des sondages

électriques a montré une succession d'aquifères dont la nappe phréatique (objet de notre étude) qui est située à 30 mètres de profondeur.

II-MATERIEL ET METHODES :

Le travail repose sur l'utilisation de trois méthodes complémentaires destinées à étudier la vulnérabilité des eaux à la pollution (GOD, DRASTIC et COS). Dans le souci d'aplanir les difficultés posées par les caractéristiques géologiques de la région (dominance de sable), nous avons commencé par l'application de la méthode GOD, basée sur l'observation de trois paramètres (type de nappe, facteurs géologiques et la profondeur de la nappe) facile à déterminer. La méthode DRASTIC, plus complète prend en compte sept paramètres dont ceux de la méthode du GOG. La dernière méthode COS fait appel aux contraintes transitoires occupation du sol et

constitue une voie d'exploration complémentaire, qui permettra de confirmer ou d'infirmer les premiers résultats.

1. METHODE DU GOD :

Cette méthode est basée sur la combinaison de trois paramètres : type de nappe, facteurs lithologiques et la profondeur de la nappe.

L'estimation de ces paramètres est aisée car basée sur les informations recueillies par les opérateurs même sur une fiche de forage.

-La détermination de ces facteurs aboutira à l'élaboration d'une carte de vulnérabilité.

Application à la nappe phréatique de Biskra.

La nappe étudiée est libre et est contenue dans des colluvions et des graviers se caractérisant par des perméabilités élevées. Sa profondeur reste faible allant au maximum jusqu'à 50 m, ce qui l'exposera à une pollution quasi certaine.

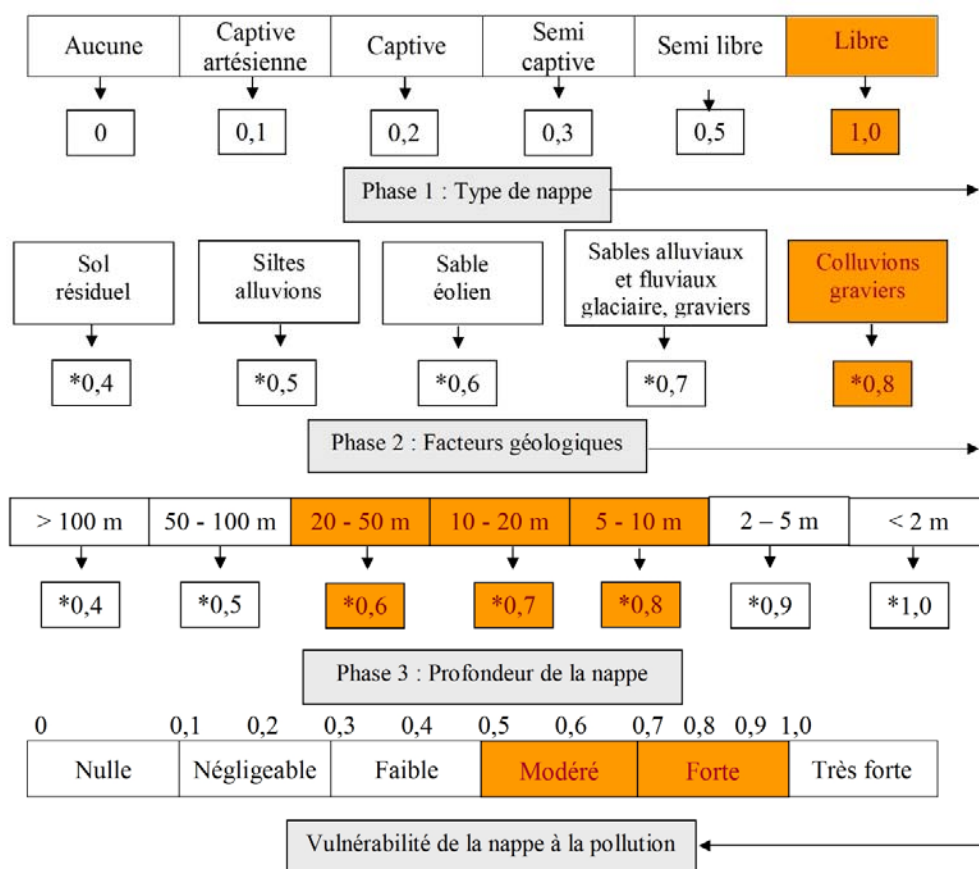


Figure 2: Estimation de la vulnérabilité d'un aquifère par la méthode du GOD (d'après Foster, 1987) : Cas de la nappe phréatique de Biskra.

La carte de la vulnérabilité des eaux à la pollution par la méthode du GOD :

Pour réaliser cette carte, nous allons combiner la carte des profondeurs et la carte et les indices,

obtenus à partir de la figure 2.

*** Carte des profondeurs de la nappe phréatique de Biskra : (Fig.3)**

La carte réalisée indique que les zones les plus profondes se localisent au Nord-Ouest et au Sud-Est. Les parties les moins profondes sont juxtaposées à l'Ouest et apparaissent en lambeaux, ailleurs on retrouve les profondeurs

intermédiaires. Cette répartition nous a permis de déterminer trois indices allant de 0.6 à 0.8, ce qui nous permet de calculer les indices débouchant sur la carte de vulnérabilité.

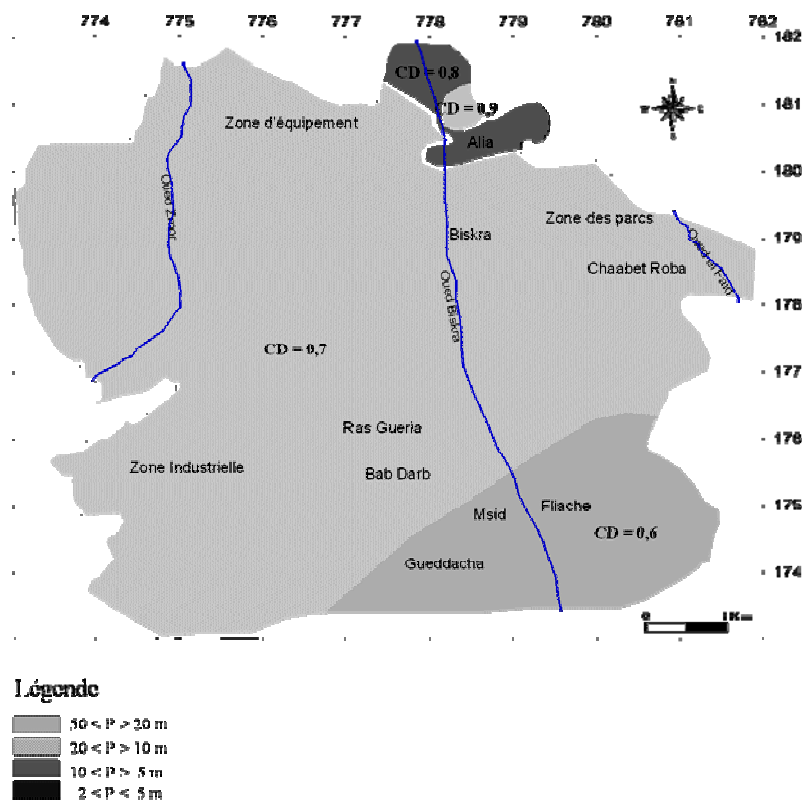


Fig.3 : Carte des profondeurs de la nappe phréatique de Biskra et ses indices

Calcul des indices globaux ou carte de vulnérabilité :

$$C = C_1 * C_2 * C_3$$

Les indices calculés aboutissent à la carte de vulnérabilité (fig.4), l'observation de cette dernière montre trois classes de vulnérabilité d'inégales extensions.

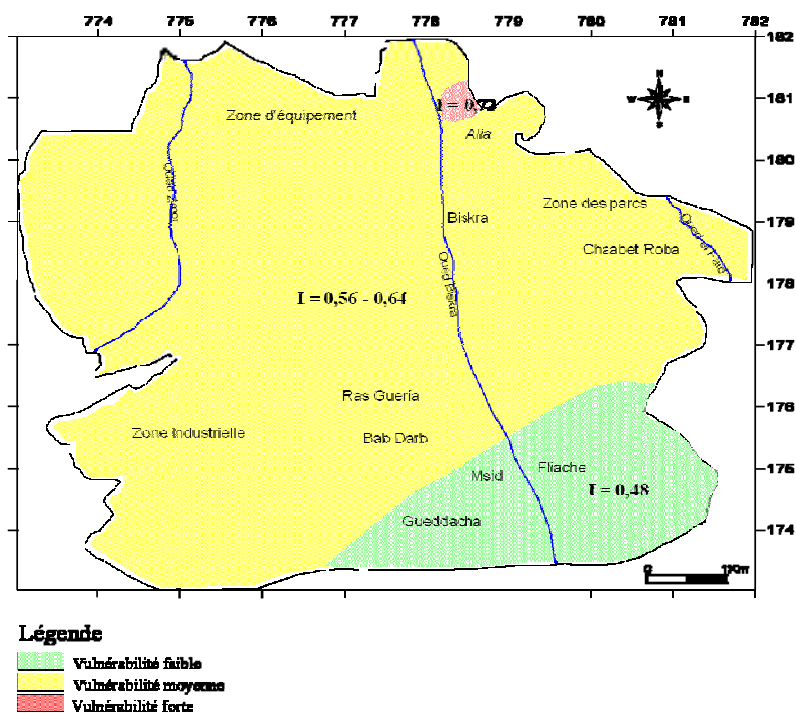


Fig. 4 : Carte de vulnérabilité de la nappe phréatique de Biskra (Méthode du GOD).

Les indices obtenus oscillent entre 0.48 et 0.72. L'observation de la carte montre trois catégories de vulnérabilités : la première dont les indices atteignent 0.72, indique une très forte vulnérabilité et se localise dans la partie Nord Est, à El Alia, siège des rejets. Les seconds indices, dans une gamme allant de 0.56 à 0.64, occupent une grande partie de la zone d'étude avec des apports liquides variés, indiquant un fort risque de

pollution potentielle. La partie Sud Est, est caractérisée par des indices de l'ordre de 0.48 indiquant une vulnérabilité modérée. La méthode du GOD, nous a permis d'avoir une première idée sur la vulnérabilité à la pollution des eaux de la nappe phréatique de la région de Biskra. Pour plus de précision nous allons utiliser la méthode DRASTIC, car combinant plus de paramètres que la méthode GOD.

2. METHODE DRASTIC :

Cette méthode est basée sur la cartographie indiciaire des paramètres suivants : profondeur de l'eau, recharge, la lithologie de l'aquifère, le type de sol, la pente du terrain, la zone non saturée (ou zone vadose) et la perméabilité (ou conductivité hydraulique) Chaque paramètre fait l'objet de deux cartes, la première en courbes et la seconde en indices, selon les indications des auteurs de la méthode DRASTIC.

Cartographie des paramètres DRASTIC :

*la profondeur de l'eau (D):

La nappe étudiée étant phréatique sa profondeur oscille entre 5 et 50 mètres. Notons que les zones les plus profondes se localisent au niveau de la bordure Sud Est (fig.5a). Au centre la profondeur varie entre 10 et 25 mètres, ce qui l'expose à une contamination assez rapide. Au niveau de la limite Nord (en lambeaux), la profondeur est de l'ordre de 5 mètres, ce qui rend le risque de pollution évident.

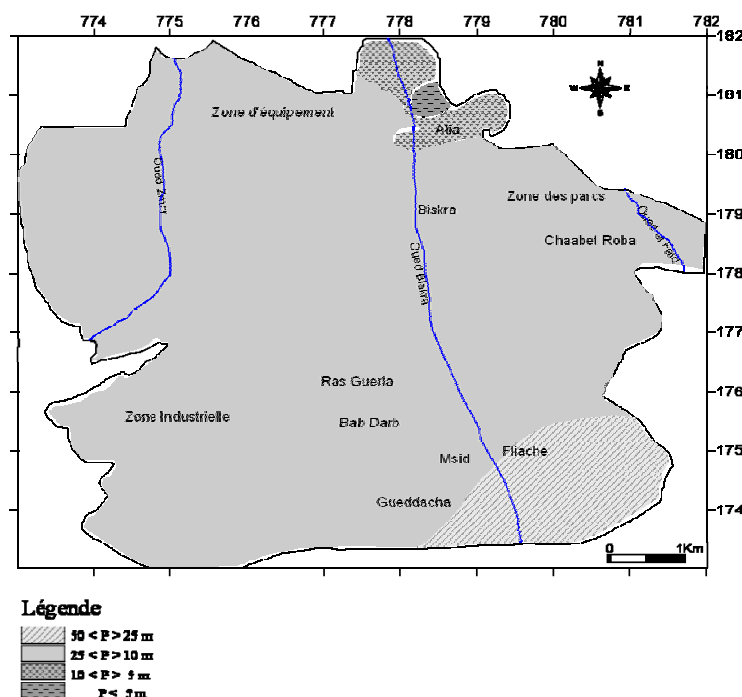


Fig.5a : Carte des profondeurs de l'eau de la nappe phréatique de Biskra.

*** Carte des indices de la profondeur de l'eau :**

La carte des indices (fig. 5b) montre, que ces derniers varient entre 45 et 35 au Nord Est, il est de 3 au Sud Est. Le centre de la plaine présente

un indice de 15 et de ce fait il constitue une zone de transition entre les deux valeurs extrêmes.

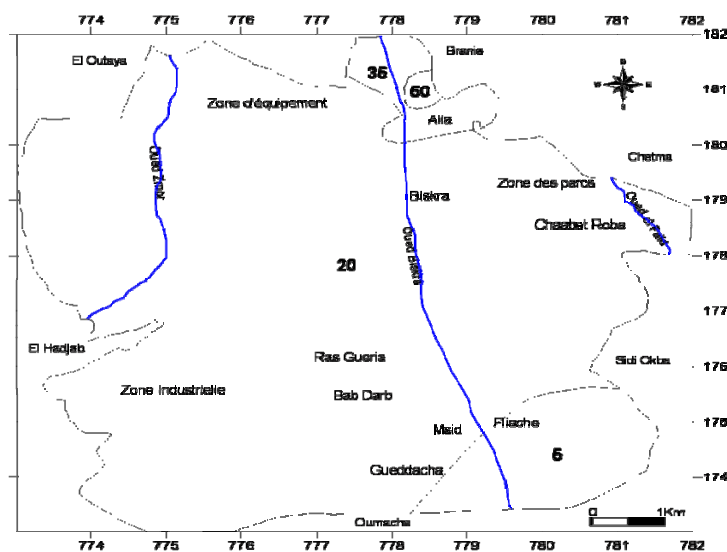


Fig.5b : Carte des indices de la profondeur de l'eau.

*** La recharge :**

Ce paramètre n'a pas été cartographié car la zone est équipée d'un seul poste pluviométrique. Par ailleurs le climat de la région est de type aride, ce

qui implique une recharge nulle. Ce paramètre ne sera donc pas pris en considération.

*** Carte de la lithologie de l'aquifère :**

La composition lithologique de cet aquifère est hétérogène et discontinue. En effet au niveau de l'Oued traversant la ville et sur une largeur de deux kilomètres maximum et une longueur de 15 kilomètres (fig.6a), les cailloutis et les graviers

dominant. Le centre de la plaine reste occupé par des sables argileux par contre les grès et les calcaires sont présents mais de manière éparse, leur présence est surtout due à la tectonique ayant affectée la région.

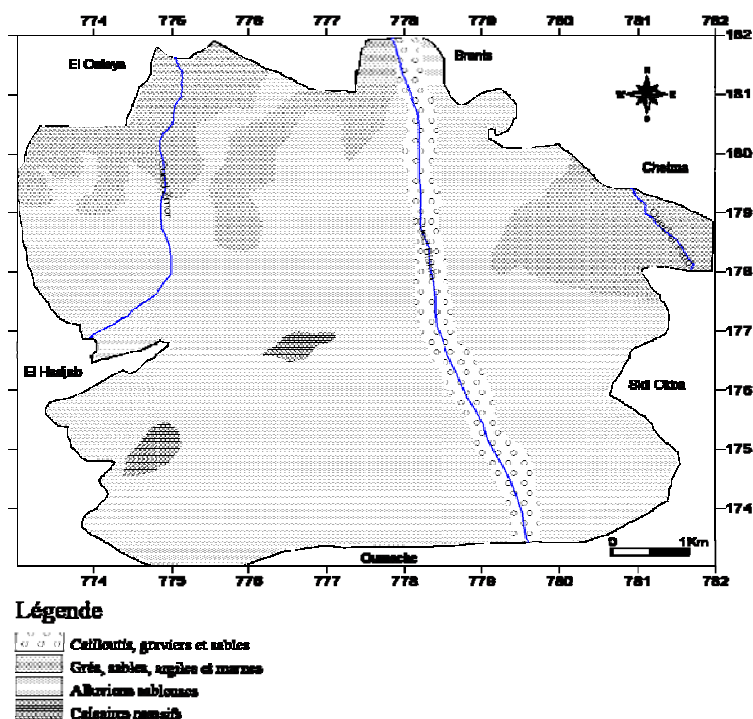


Fig.6a : Carte de la lithologie de l'aquifère

*** Carte des indices de la lithologie de l'aquifère :**

La carte établie (fig. 6b) montre deux indices dominants, le premier égal à 24, se localise sur

toute la longueur de l'Oued et le second atteignant la valeur de 18.

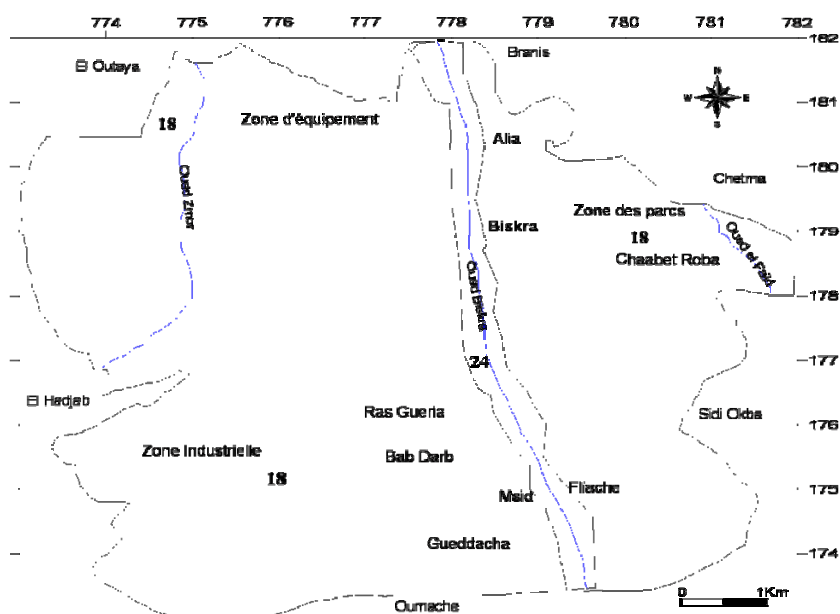


Fig.6b : Carte des indices relatifs à la lithologie de l'aquifère.

*** Le type de sol :**

La carte (fig. 7a), décrit la surface du sol, ce dernier est constitué de sables, de grès de graviers souvent mêlés à des argiles et parfois seuls. La présence des argiles constitue un frein à la pénétration quasi-instantané des polluants.

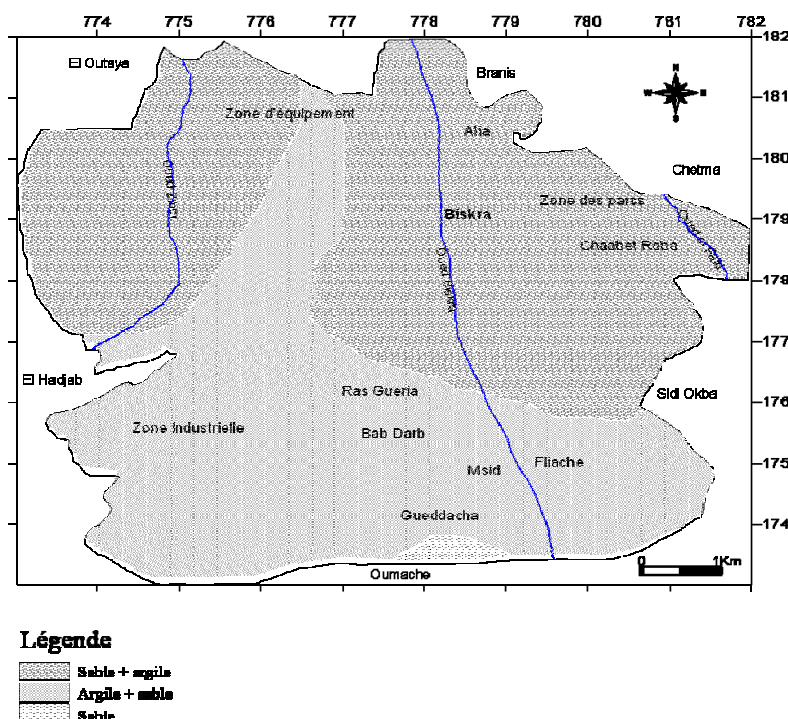


Fig.7a : Carte des types de sols.

* Carte des indices de type de sol :

Les indices obtenus (fig.7b), atteignent 18 au Nord Est et au Nord Ouest, et 14 partout ailleurs.

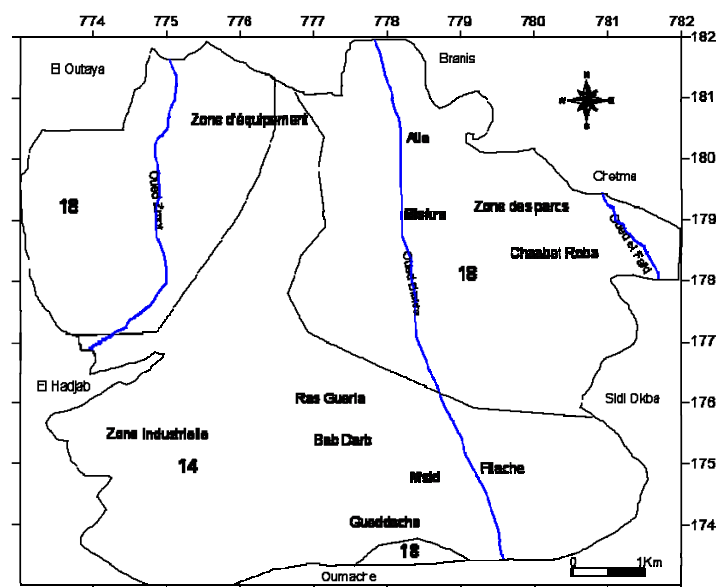


Fig.7b : Carte des indices de type de sol.

* Carte des pentes :

En l'absence d'étude considérant la pente de la région, on s'est intéressé à la détermination de la pente de la zone d'étude. Les résultats obtenus sont issus d'une opération d'harmonisation.

L'observation de la carte (fig.8), montre une pente relativement forte, en effet sur une distance ne dépassant pas dix kilomètres, on note que l'altitude baisse de 150 à 95 mètres, ce qui correspond à une pente assez forte.

A la sortie de la région d'El Outaya, la cote topographique avoisine 150 mètres puis sur une

distance relativement courte elle passe à 95 mètres dans la partie Sud de Biskra à Gueddacha, ce qui implique une pente forte à l'entrée de la ville de Biskra, de l'ordre de 86%, puis elle diminue progressivement pour atteindre 30% vers Gueddacha. Cette répartition montre un dénivelé important, cette dernière aura pour conséquence une augmentation de la vitesse des écoulements en surface favorisant ainsi le déplacement des polluants. Ce qui pourra expliquer la pollution de

certaines zones pourtant à l'abri de toutes formes de pollution.

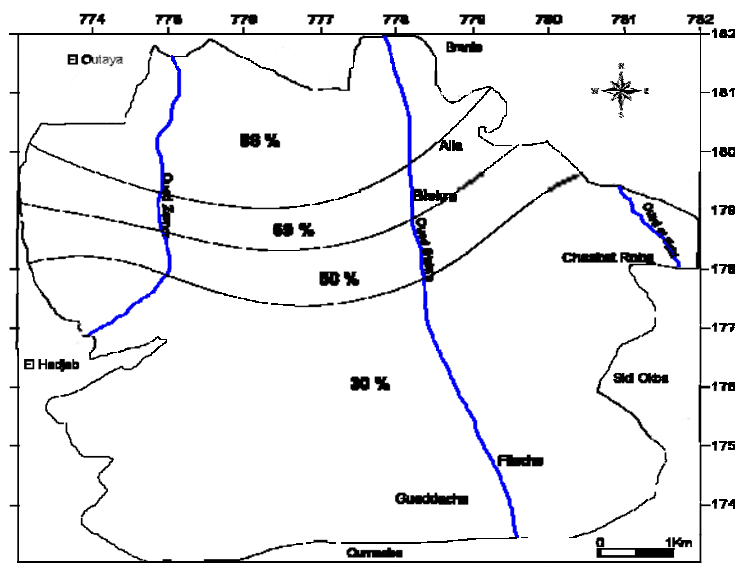


Fig.8 : Carte des pentes de la région.

*** Carte des indices de pente :**

En nous basant sur les cotations de la méthode DRASTIC. L'indice attribué est de 1, multiplié

*** carte de la zone non saturée :**

Cette zone est très importante, c'est la zone de transit des polluants vers la nappe, plus cette zone est perméable plus le polluant atteint rapidement l'eau. La carte réalisée (fig.9a), montre que le centre de la région étudiée est occupé par des alluvions sableuses, favorisant ainsi le

par le poids attribué à ce paramètre nous obtenons une valeur de 5.

déplacement des polluants. Au niveau de la zone extrême Nord apparaissent des formations constituées de grès et de calcaires mélangés à des argiles, caractérisant ainsi une baisse des perméabilités. Dans cette partie le passage des polluants se fera difficilement.

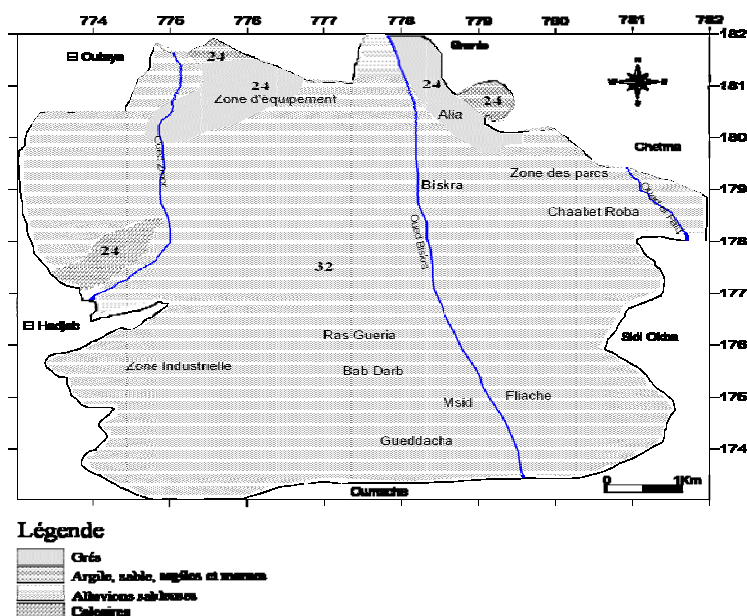


Fig.9a : Carte de la zone non saturée

*** Carte des indices de la zone non saturée :**

La carte établie (fig.9b), montre au centre des indices élevés atteignant 32 par contre sur les bordures Nord, ils ne dépassent guère 24.

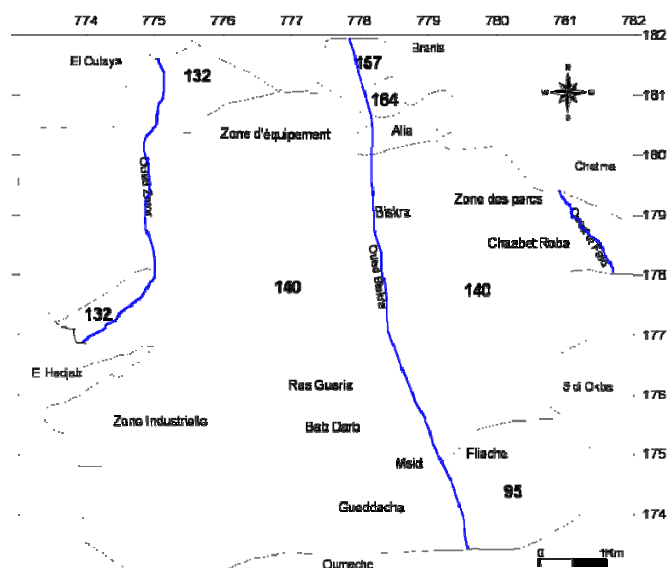


Fig.9b : Carte des indices de la zone non saturée.

*** carte de la perméabilité :**

La carte obtenue (fig.10a), montre que les plus fortes perméabilités se localisent dans la zone Nord, elles atteignent $3 \cdot 10^{-2}$ m/s soit 2538 m/j, en allant vers le Sud ce paramètre baisse et atteint $1.3 \cdot 10^{-2}$ m/s soit 1100 m/j. Le facteur

perméabilité ne varie pas beaucoup dans l'espace et reste élevé pour toute la zone. Ces valeurs favoriseront le déplacement du polluant. Au niveau de la zone Sud-Est, ce paramètre ne peut être quantifié car on change de type d'aquifère.

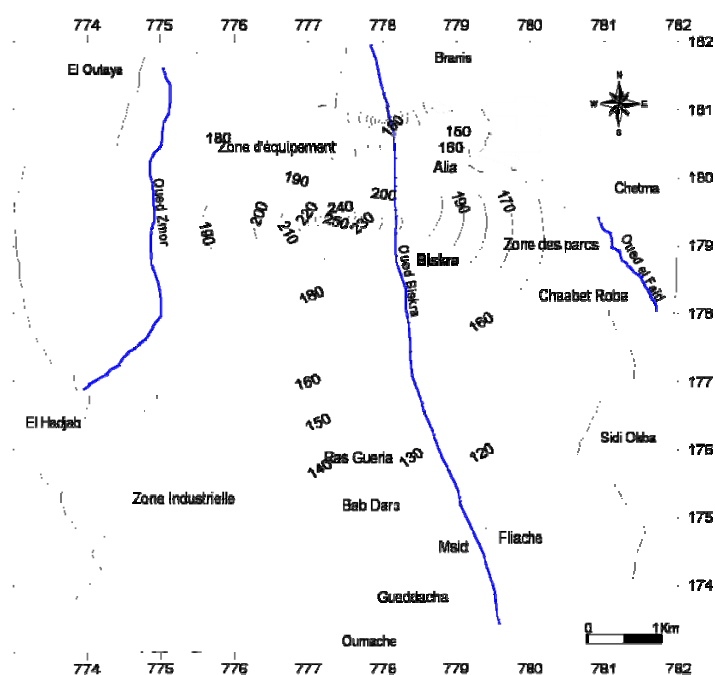


Fig.10a : Carte des perméabilités de la nappe phréatique.

***Carte des indices de la perméabilité :**

La carte des indices de perméabilité (fig.10b), obtenue montre le même indice sur toute la zone, ce dernier est de 30.

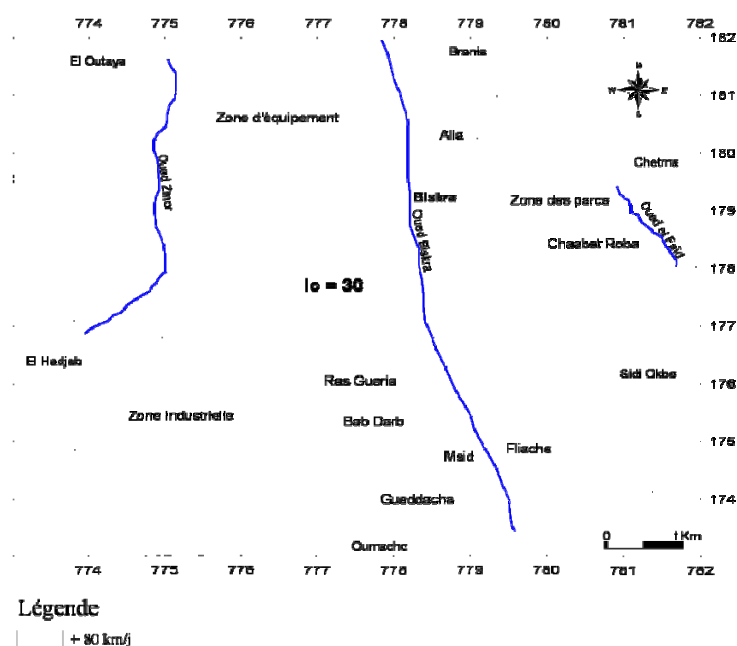


Fig.10b : Carte des indices de la perméabilité.

Etablissement de la carte de vulnérabilité (DRASTIC)

*Carte globale des indices :

La carte établie (fig.11), montre que les indices varient entre 95 et 164. Les plus faibles valeurs sont localisées au Sud, là où la nappe est

profonde, au centre les indices oscillent entre 132 et 140, par contre au Nord-Est sont localisées les fortes valeurs allant de 157 à 164.

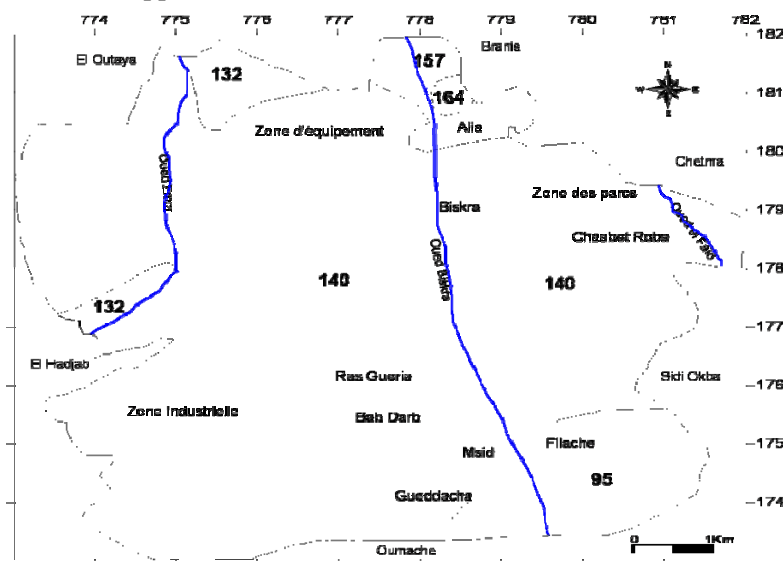


Fig.11 : Carte globale des indices.

*Carte de vulnérabilité issue de la méthode DRASTIC :

En appliquant la classification de l'U.S. Environmental Protection Agency (in Chaffai & al, 2006), on peut en déduire trois classes qui correspondent à : (1) une vulnérabilité faible avec $I < 100$, (2) $100 < I < 150$, une vulnérabilité moyenne et (3) une vulnérabilité forte avec $I > 150$. L'observation de la carte (fig.12), montre que la zone la plus vulnérable se localise au Nord Est de la zone d'étude par contre la zone la moins

vulnérable est située au Sud Est là où la nappe est profonde.

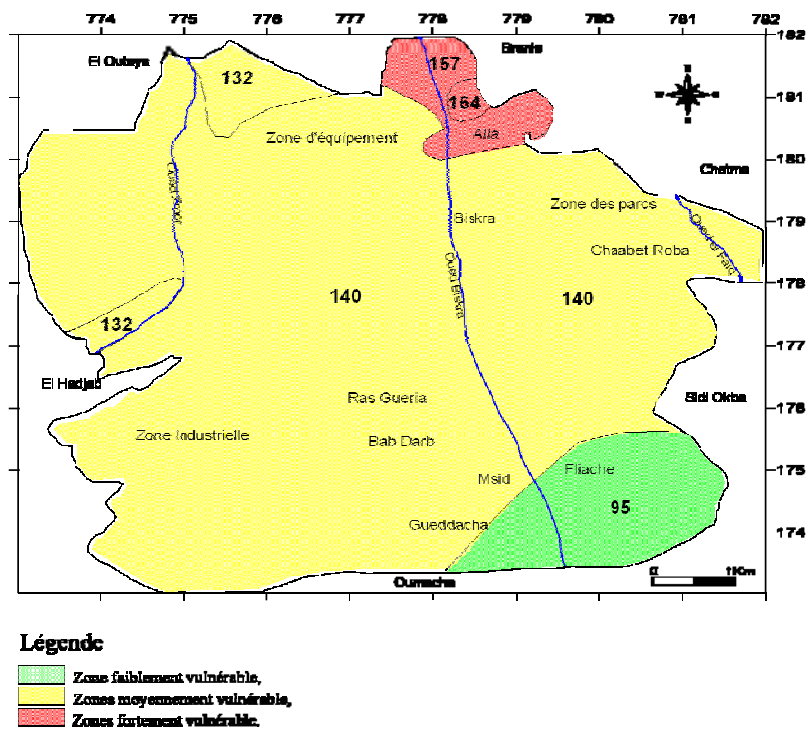


Fig.12 : Carte de vulnérabilité DRASTIC.

3. METHODE COS (Contraintes des Occupations du sol) :

Contrairement aux deux précédentes méthodes qui prennent en considération la nature lithologique du sol et du sous-sol, celle-ci s'appuie sur le recensement des sources potentielles de pollution et leur position par rapport à la nappe.

*Carte d'occupation du sol :

Pour réaliser ce travail une campagne de recensement a été réalisée sur plusieurs mois. Les informations recueillies ont été cartographiées

(fig.13). A titre indicatif on remarque que la zone étudiée reste occupée par les palmiers dattiers et la petite industrie (station service).

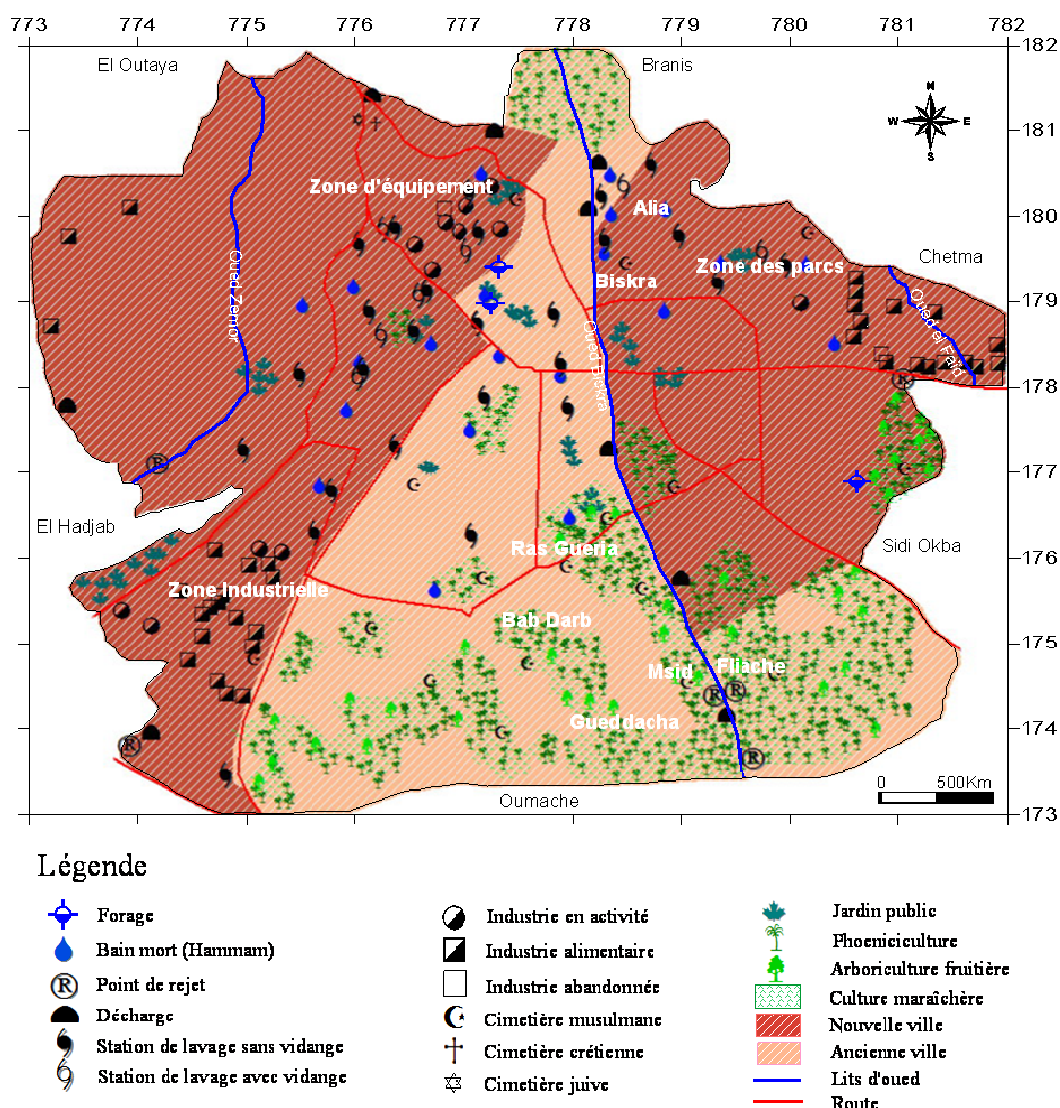


Fig.13 : Carte d'occupation du sol.

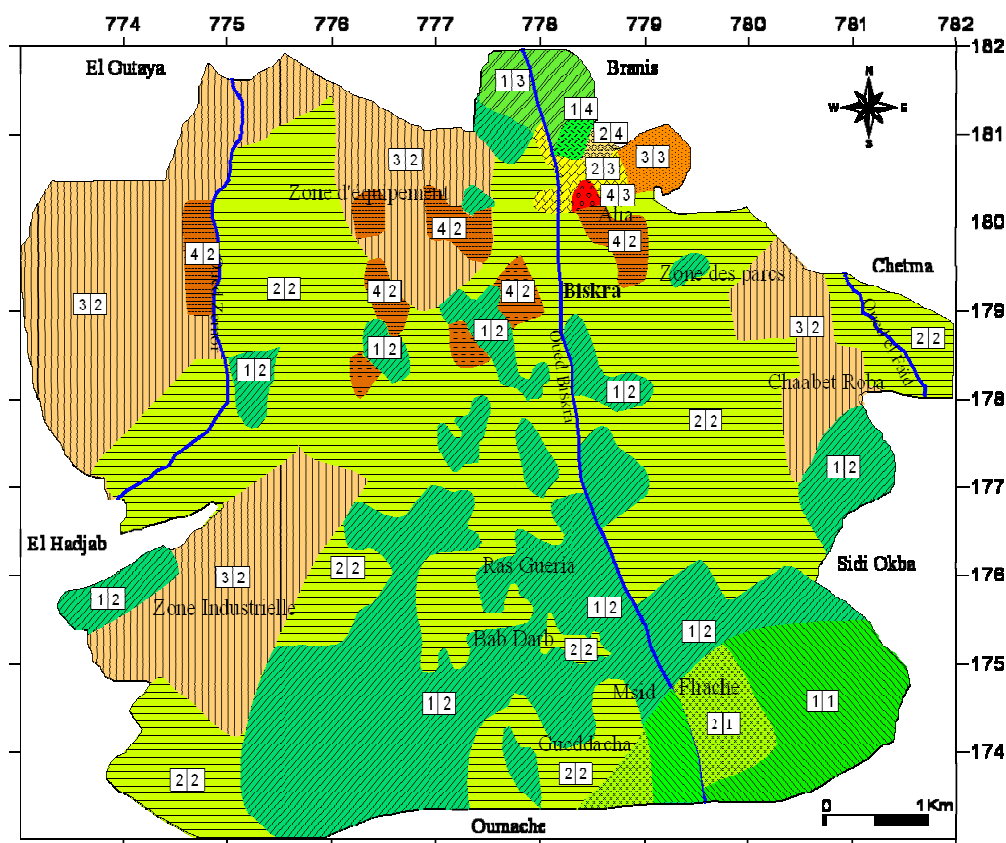
***Carte de risque potentiel à la vulnérabilité :**

Pour obtenir la carte de risque potentiel à la vulnérabilité nous avons combiné la carte d'occupation du sol et la carte de la profondeur de l'eau. Cette carte n'est valable que pour une période limitée dans le temps car les activités peuvent être soit modifiées soit disparaître à moyen ou long terme.

L'observation de la carte ainsi réalisée (fig.14), montre quatre classes d'inégales extensions, allant d'une faible à une forte vulnérabilité. Les indices indiquant les secteurs très vulnérables sont cotés 4.2 et 4.3, ils apparaissent en lambeaux et se localisent à El Alia. La deuxième classe indique une vulnérabilité sensible, cotée 3.2 et 3.3 et serait causée par les rejets urbains car la nappe y est

située à 10 mètres au maximum sous le sol, cette deuxième classe est localisée sur les côtés Est et Ouest de l'ancienne ville.

La troisième catégorie concerne les zones moyennement vulnérables et est cotée 2.1, 2.2, 2.3 et 2.4, le niveau de la nappe est plus profond et atteindrait 25 mètres, de ce fait le polluant peut se dissiper avant son arrivé à la nappe. Cette catégorie se localise au centre proche des zones d'habitations. La quatrième catégorie se caractérise par une nappe profonde à plus de 50 mètres, elle est cotée 1.1, 1.2, 1.3, 1.4, donc très peu vulnérable, elle se localise au niveau des palmeraies.



Légende

Contraintes

(Occupation des sols)

Forêts, broussaille

0

Champs cultivés

1

Zones urbaines

2

Zones industrielles

3

Stock hydrocarbure

4

Zones très polluée

Profondeur de la nappe libre

0

$P > 50$ m ou captive

1

$50 < P > 25$ m

2

$25 < P > 10$ m

3

$10 < P > 5$ m

4

$P < 5$ m

11

2

12

3

13

4

14

5

21

2

22

3

23

4

24

5

32

3

33

4

42

3

43

4

Fig.14 : Carte de vulnérabilité méthode « Contraintes d'Occupation du Sol ».

Cette zone reste plus ou moins protégée vis-à-vis des sources de pollution tel que les rejets domestiques qui sont peu nombreux (rareté des constructions).

CONCLUSION :

Dans une zone à géologie contrastée où les sables affleurant en surface sont souvent relayés par d'autres formations en profondeur (grès, calcaires, argiles...). Dans cette plaine interfèrent de nombreuses sources de pollution, ce qui a compliqué la tâche des chercheurs, nécessitant ainsi l'utilisation de trois méthodes prenant en compte une dizaine de paramètres. Les résultats obtenus aboutissent aux mêmes constatations. Les trois cartes établies montrent la même répartition des classes de vulnérabilité. Cette convergence des classes reste un atout important pour le chercheur et pour le décideur car la zone d'étude reste exposée à une pollution provoquée par un assainissement défaillant, les habitats nouvellement construits se localisent de part et d'autres de l'ancienne ville. Les rejets domestiques en l'absence d'un assainissement adéquat, s'écoulent vers le centre de la plaine là où la nappe est peu profonde. L'activité industrielle reste concentrée dans la partie Ouest de la région. L'agriculture intensément pratiquée à Biskra, génératrice de pollution, occupe une grande partie de la zone d'étude.

La chronologie suivie pour la réalisation de ce travail est très pragmatique, en effet au départ, on a pris en considération une méthode simple dans sa conception (GOD), les autres méthodes utilisées (DRASTIC, COS), sont plus complexes et plus complètes. La méthode COS de nature transitoire permet de s'interroger sur l'évolution des risques potentiels de la pollution en espérant une action avec une éradication future (par modification, amélioration ou suppression des activités dangereuses).

BIBLIOGRAPHIE :

- Albinet M. et Margat(1970): Cartographie de la vulnérabilité à la pollution des nappes d'eau souterraines. *Bull. BRGM* (2), Section III, N°4, pp 13-22.
- Aller L. (1987): DRASTIC, a standard system for evaluating ground water pollution potential using hydrogeology ic settings. National Water Well Association Report, EPA N° 600/2 - 87.035, 455 p et 22 cartes et légendes.
- Boulabaiz F (2006) : Contribution à l'étude de la vulnérabilité de la nappe de Collo N.E Algérien. Mémoire de magister de l'université de Annaba. 135p.
- Chaffai H, Laouar R, Djabri L& Hani A (2006): Etude de la vulnérabilité à la pollution des eaux de la nappe alluviale de Skikda : application de la méthode DRASTIC. Bulletin du Service Géologique National. Vol 17. n°1. pp.63-74.
- Doerfliger N. and Zwahlen F. (1998) : Guide pratique - Cartographie de la vulnérabilité en régions karstiques (EPIK); Publié par l'OFEFP, Office fédéral de l'environnement des forêts et du paysage (No de commande: VU-2505-F - existe aussi en allemand).
- Menani M. Redha (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. *Revue Sécheresse*, numéro 12, volume2, pp 95-101, juin 2001.
- Munoz S. Et al. (1991): Adaptation d'une méthode cartographique assistée à l'élaboration de cartes de vulnérabilité au Guatemala. *Hydrogéologie*, N°1, pp 65-84, 11 Fig., 3 Tabl.
- Ricard .J (1974) : inventaire et état de la ressource en eau de la région de Tébessa. Rapport interne.76p.
- Shamsuddin.S (2000): A study of groundwater vulnerability using/GIS. West Bengal.India. *Journal of environmental hydrology*,8.1-9p
- Tripet J.P et al. (1998): Nécessité d'une méthode de cartographie de la vulnérabilité des aquifères fissurés. Workshop Vulnérabilité et Protection des Eaux karstiques, 18-20. 05, Editions du Chyn, Neuchatel, Suisse

BIBLIOGRAPHIE CONSULTÉE ET N'AYANT PAS FAIT L'OBJET DE RAPPEL DANS LE TEXTE

- Bouchagoura L (2003): Etude hydrogéologique de la plaine alluviale de Tébessa. Mémoire de magister de l'Univ. de Annaba. 168p.
- C.G.G (1972) : Réalisation d'une campagne géophysique sur l'aquifère Tébessa Morsott. Rapport interne. 20p.
- Denis I. (1990): Cartographie de la vulnérabilité des eaux souterraines au Québec. Revue Sciences et Techniques de l'Eau, 25, N°3.
- Djabri L. (1987): Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe alluviale de la plaine d'effondrement «Essai de modélisation». Thèse de Doc. Ing. de l'Univ. des Sci. et Tech. de Franche-Comté. 176p.
- Djabri L, Hani A, Mania J, Mudry J (2001): Mise en évidence du processus de salinité des superficielles. Vérification par l'ACP dans le secteur de Annaba-Bouhegouf et Guelma. Revue Tribune de l'Eau. Vol, 54.N° 610. pp29-43.
- Gouaidia L (2002) : Approche hydrochimique d'une nappe en zone semi aride : cas de la nappe alluviale de la plaine de Tébessa, extrême Est Algérien. Mémoire de Magister de l'Université de Annaba. 180p
- Hsissou Y., Bouchaou L, Mudry J & Mania J (1996): Caractérisation des eaux de l'aquifère turonien du bassin de Tadla (Maroc) par le rapport des concentrations molaires Sr^{2+}/Ca^{2+} . J. Hydrol., 183.
- Hsissou Y., Bouchaou L, Mudry J, Mania J & Chauve P (1997): Dynamique et salinité de la nappe côtière d'agadir (Maroc): Influence du biseau salé et des faciès évaporitiques. Hydrochemistry, IAHS Publ., 244.
- Mania J., Monnet J.C et Gaiffe M. (1998): La protection des eaux souterraines dans les zones rurales de moyenne montagne à vocation agricole. Hydrogéologie, N°4, pp 29-32, 1 Fig., 2 Tabl. Doc. BRGM, 275, 91-95 (4ème journée technique de l'AIH, Paris)
- Mania J., Monnet J.C. et Gaiffe M - 1997- La protection des eaux souterraines dans les zones rurales de moyenne montagne à vocation d'élevage.