



المجلة الجزائرية للمناطق الجافة
Journal Algérien des Régions Arides (JARA)
Algerian Journal of Arid Regions

Research Paper

Apport du SIG à l'établissement de la carte de vulnérabilité intrinsèque de la nappe d'Inféro-flux de l'Oued M'zab, Algérie

Contribution of the GIS to the establishment of the intrinsic map vulnerability of the water-table aquifer of the wadi M'zab, Algeria

M. ACHOUR^{1*}, M.I. HASSANI¹, H. MANSOUR¹, A. HADJ BRAHIM², H. BENSAHA³

1. Laboratoire Géo-ressources, Environnement & Risques Naturels (GEOREN), FSTU, Université MB Oran 2- Algérie.

2. Faculté des sciences et de la technologie, Université de Ouargla.

3. Unité de Recherche Appliquée en Energies Renouvelables, URAER, Centre de Développement des Energies Renouvelables, CDER, 47133, Algérie.

Received: 10 November 2019 ; Accepted: 08 December 2019; Published: December 2019

Abstract

Groundwater in arid zones is the main source of exploitable water. Due to their scarcity and the multiplication of pollution sources in certain regions (wastewater and industrial, raw dumps, chemical fertilizers, etc.), these resources require adequate protection. To this end, the establishment of vulnerability maps of groundwater to surface pollution is a decision-making tool of primary importance for the safeguarding of local resources. The method applied for this purpose was the GOD method. This parametric method, numerically rated and filing system, remains relatively simple and convenient use does not require the provision of many parameters difficult to acquire in this context. According to the requirements of the method, the integration and the combination of raster-mode hydrogeological index maps, in a GIS under ArcGIS environment, made it possible to elaborate the map of intrinsic vulnerability indices of the aquifer water-table of Oued M'zab. The results reveal the predominance of four classes of vulnerability indices : zero vulnerability class, located on the peripherals of the study area, moderate vulnerability class which mainly coincides with areas of high oasis activity, high vulnerability class, which extends over the entire surface of the M'zab valley from upstream to downstream (45%), but the fourth very high vulnerability class, was located in the central part along the minor bed of the M'zab wadi represents 2% of the study area. An analysis campaign of potentially polluting elements was carried out on about twenty wells (BOD₅, DCO, nitrates and dissolved oxygen) in order to validate the vulnerability map established. The results of the analysis are almost perfectly in line with the vulnerability classes; high concentration values in sectors with high and very high vulnerability levels, on the other hand, low concentrations of pollutants are located in sectors with low vulnerability levels.

Key words: Intrinsic vulnerability, GIS, Oued M'zab, Pollution, Water-table aquifer.

* Corresponding author : **ACHOUR Mansour**

E-mail address: achour_m343@hotmail.com



Résumé

Les eaux souterraines dans les zones arides représentent la principale ressource en eau exploitable. En raison de leur rareté ainsi que de la multiplication des sources de pollution dans certaines régions (eaux usées et industrielles, décharges brutes, engrais chimiques, etc.), ces ressources nécessitent une protection adéquate. A cet effet, l'établissement de cartes de vulnérabilité des eaux souterraines aux pollutions de surface constitue un outil d'aide à la décision de première importance visant à la sauvegarde des ressources locales. La méthode appliquée à cet effet a été la méthode GOD. Cette méthode paramétrique, à cotation numérique et à système de classement, reste d'usage relativement simple et commode ne nécessitant pas la disposition de nombreux paramètres difficiles à acquérir dans ce contexte. Selon les exigences de la méthode, l'intégration et la combinaison de cartes d'index hydrogéologiques en mode raster, dans un SIG sous environnement d'ArcGIS, a permis l'élaboration de la carte des indices de vulnérabilité intrinsèque de la nappe d'Inféro-flux de l'Oued M'zab. Les résultats révèlent la prédominance de quatre classes d'indices de vulnérabilité : classe à vulnérabilité nulle, localisée sur les périphériques de la zone d'étude, classe à vulnérabilité modérée qui coïncident principalement avec les zones à forte activité oasienne, classe de vulnérabilité forte, qui s'étalent sur l'ensemble de la surface de la vallée de l'oued M'zab en allant de l'amont vers l'aval (45%), par contre la quatrième classe à vulnérabilité très forte, a été localisée dans la partie centrale le long du lit mineur de l'oued M'zab représente 2% de la zone d'étude. Une campagne d'analyse des éléments potentiellement polluants a été effectuée sur une vingtaine de puits (DBO₅, DCO, les nitrates et l'oxygène dissous), dans le but de valider la carte de vulnérabilité établie. Les résultats de l'analyse s'harmonisent quasi-parfaitement avec les classes de vulnérabilité ; fortes valeurs de concentration dans les secteurs à degré de vulnérabilité fort et très fort, par contre les faibles concentrations des éléments polluants sont localisées dans les secteurs de faible degré de vulnérabilité.

Mots clés : Nappe Inféro-flux, Oued M'zab, Pollution, SIG, Vulnérabilité intrinsèque.

1. Introduction

L'accroissement démographique et le développement agricole et industriel ont engendré une très forte demande en eau, nécessitant une grande mobilisation de cette ressource. A cet effet, les eaux souterraines dans les zones arides représentent les principales ressources en eau exploitables. En raison de leur rareté ainsi que la multiplication des sources de pollution (eaux usées et industrielles, décharges brutes, engrais chimiques ...etc.), ces ressources nécessitent un certain degré de protection. Au préalable, la protection de ces eaux souterraines peut être caractérisée par un certain degré de leur vulnérabilité à la pollution. Une nappe phréatique proche du sol est très vulnérable à la pollution provenant du sol, par contre une nappe captive, naturellement protégée par une formation imperméable n'est donc pas vulnérable à la pollution de surface (Gabriel ET Ake & al. ,2009). Dans le cadre de cette étude, la méthode de cartographie de la vulnérabilité intrinsèque utilisée nous a permis de faire une idée assez nette sur les zones sensibles à la contamination au sein de la vallée du M'zab. A cet effet, des mesures de protection de ces ressources souterraines doivent être établies vis-à-vis des activités anthropiques.

2. Matériels et méthodes

2.1 Présentation de la zone d'étude

La région du M'zab, située à 600 km au sud de la capitale est considérée comme l'une des grandes oasis du Sahara algérien. Administrativement, elle fait partie de la wilaya de Ghardaïa, regroupant trois chefs lieu de communes ; Ghardaïa chef-lieu de la wilaya, occupant l'amont et le centre de la vallée, Bounoura et El Atteuf occupent l'aval de la vallée de l'oued. Géographiquement, la vallée de l'oued M'zab est comprise entre 32° 26' et 32° 31' de latitude Nord et 3° 37' et 3°46' de longitude Est (Fig. 1). Elle est alignée approximativement NW-SE, en partant de Bouchen, zone de confluence de l'oued El Haimour (Laadira) avec l'oued Touzouz, jusqu'à El Atteuf sur une longueur de 23,50 km. La largeur de la vallée varie entre 2,35 et 1,50 km en amont et diminue au fur et à mesure vers l'aval pour atteindre 0,55 km tout au sud de la ville d'El Atteuf. Les altitudes quant à elles sont relativement faibles, elles diminuent progressivement de l'amont vers l'aval, 514 à 508 mètres à Bouchen, 505 à 485 mètres au niveau de la ville de Ghardaïa, 455 à 450 mètres au niveau d'El Atteuf, et 435 mètres à Ahbas point le plus bas de l'oasis d'El Atteuf.

La valeur moyenne des précipitations enregistrée à Ghardaïa est de l'ordre de 80,6 mm/an. Les précipitations engendrées peuvent être des importantes averses orageuses. La valeur moyenne annuelle de la température est de 22,3 °C. La région du M'zab, du point de vue géologique, fait partie du grand domaine de la plateforme saharienne (Busson G, 1970 et Fabre J, 1976). La zone d'étude présente à l'affleurement une succession de formations géologiques allant du Cénomaniens au Mio-Pliocène continental. Le Quaternaire correspond au dépôt de recouvrement alluvionnaire de la plupart des vallées des oueds parcourant la dorsale du M'zab. De l'amont en aval, les épaisseurs variantes entre 20 à 30 mètres. Ces alluvions quaternaires, jouent d'important rôle hydrogéologique en abritant les Inféro-flux de la plupart des oueds de la dorsale du M'zab.

Le bassin versant de l'oued M'zab (Fig. 2) couvre une surface de 6114 km², il coule sensiblement de l'Ouest en l'Est ; de la région de Botma Rouila (source), à la Sebket Safioune (exutoire du bassin), en parcourant une longueur totale de 301,4 km (Achour M, 2014).

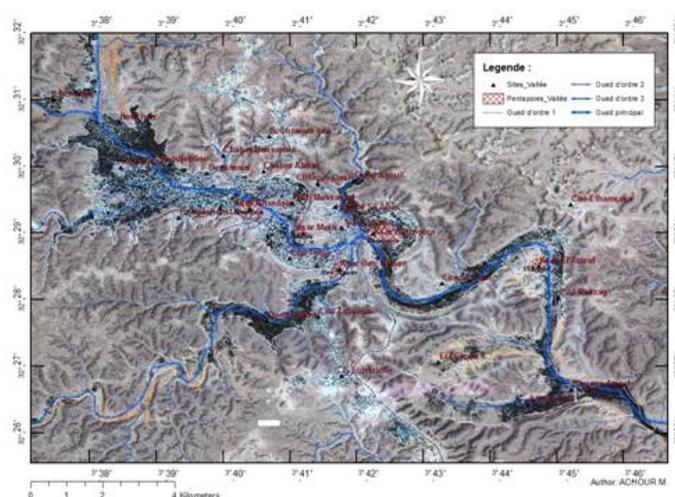


Fig. 1 : Limites de la vallée de l'oued M'zab
(Image SPOT/2000).

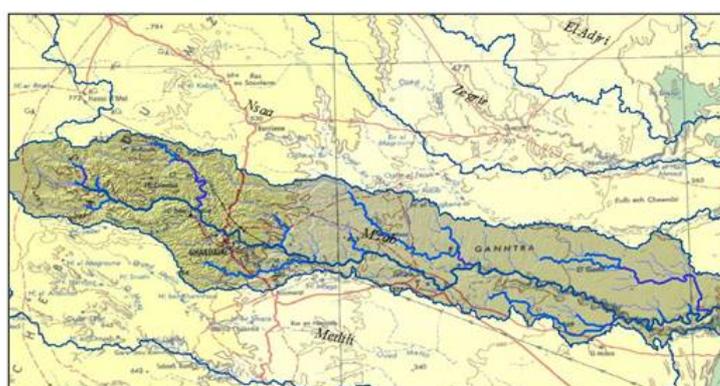


Fig. 2 : Le bassin versant de l'oued M'zab

2.2 Notation et interpolation des paramètres la méthode GOD

La digitalisation de l'image satellitaire SPOT de l'an 2000 (multi spectrale à 4m de résolution) de la zone étudiée en utilisant les outils du logiciel ArcGIS 10 Desktop de l'Environmental System Research Institute (ESRI), nous a permis de calculer les surfaces et l'élaboration de la carte d'occupation du sol. Pour investiguer le degré de la vulnérabilité à la pollution des eaux de l'inféro-flux de l'oued M'zab, nous avons adopté la méthode GOD, c'est une méthode paramétrique, à cotation numérique et à système de classement, développée en Angleterre par Foster en 1987 (Foster S, Hirata R., 1991), elle permet de réaliser une estimation rapide de la vulnérabilité intrinsèque d'un aquifère face à une percolation verticale de polluants via la zone non saturée (ZNS) (Murat V. & al, 2000)). Le système est fondé sur l'identification de trois paramètres ; type de nappe (Groundwater occurrence) : G ; type d'aquifère en fonction de son degré de confinement (Overall aquifer class) : O ; profondeur à la nappe (Depth to groundwater table) : D. L'indice de vulnérabilité GOD (I_GOD) est obtenu par la multiplication des indices de chacun des trois paramètres selon la formule :

Avec ; I_G : type d'aquifère ; I_O : lithologie de l'aquifère ; I_D : Profondeur à la nappe. Les cotes attribuées aux classes des différents paramètres sont inférieures ou égales à 1. Les indices GOD (I_GOD) sont répartis en cinq classes de vulnérabilité allant du très faible à l'extrême, avec valeur minimale 0 et valeur maximale 1. Le degré de vulnérabilité augmente avec l'indice GOD (I_GOD).

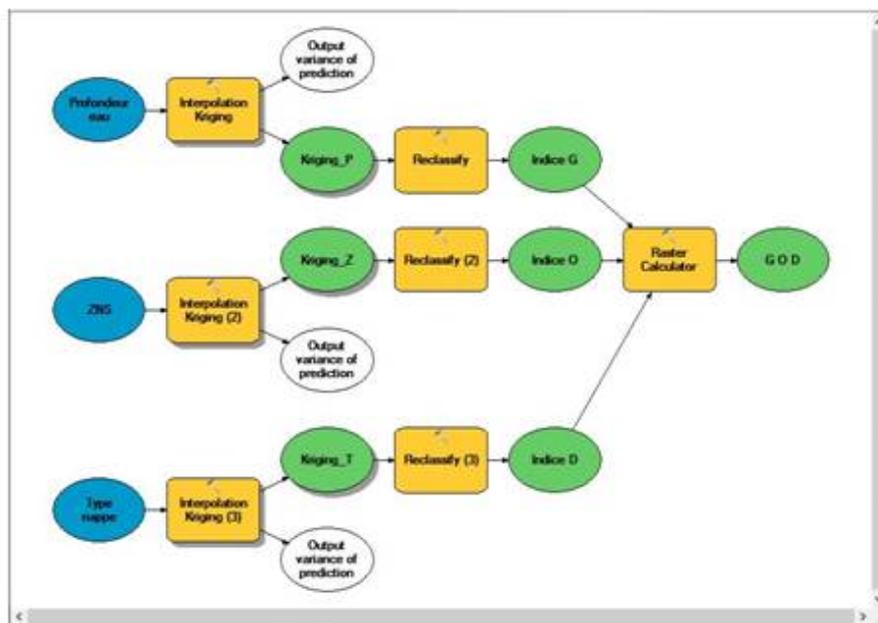


Fig. 3 : ModelBuilder sous ArcGIS de la méthode GOD

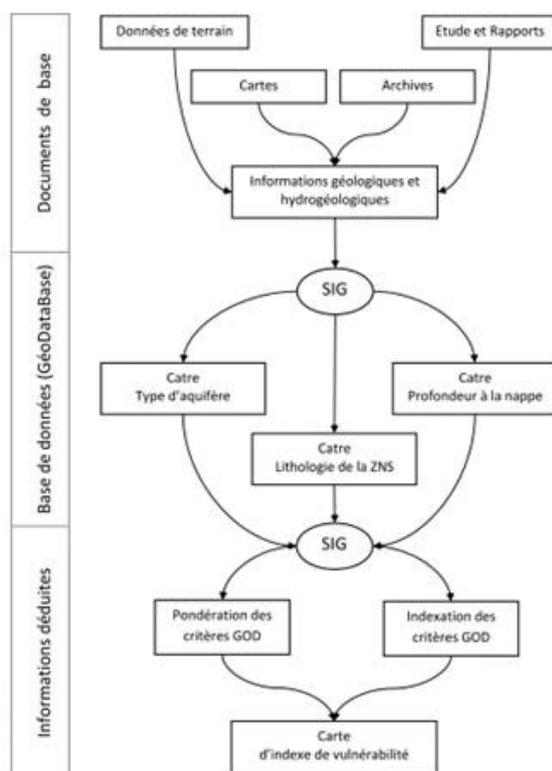


Fig. 4 : Organigramme de la méthode GOD

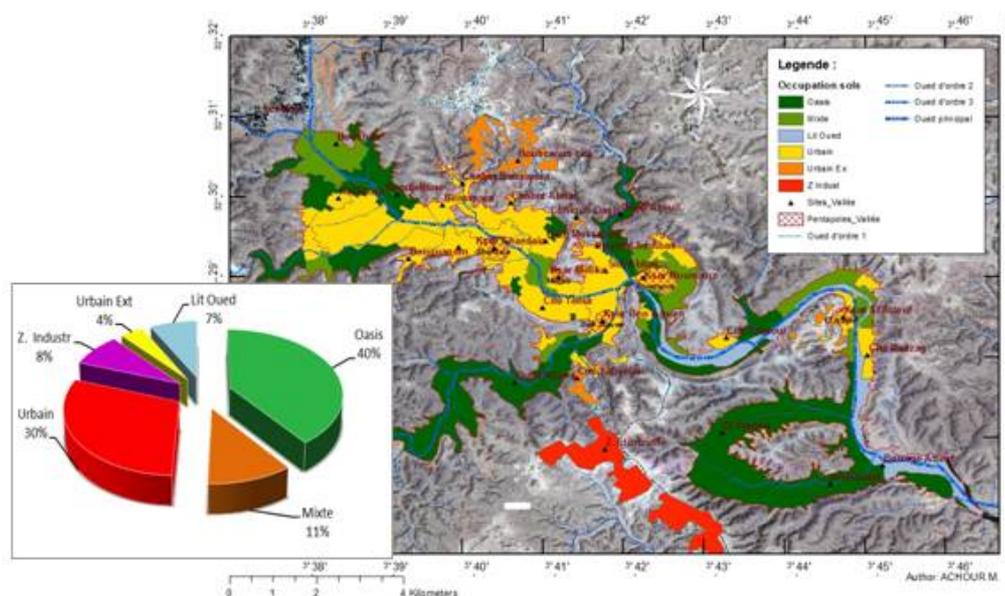


Fig. 5 : Carte d'occupation du sol de la vallée de l'oued M'zab

3. Résultats

3.1. Carte d'occupation du sol dans la vallée

La carte montre que sur une surface totale de la vallée digitalisée de 31,18 km² soit 3118,8 ha ; 30% est occupée par l'urbanisme soit 10,63 ha. Les oasis dans la vallée occupent une surface de 14,10 ha, soit 40% de la surface totale (fig. 5). Les oasis sont localisées principalement en amont (Touzouz, Bouchen) et en aval de l'oued M'zab (Djaoua, Aouleouel), ainsi que le long des deux principaux affluents de la vallée du M'zab ; oued N'tissa et oued Azouil. Les zones mixtes (urbanisme et oasis) représentent 11% de la surface totale soit 3,83 ha. Les zones urbaines sont localisées principalement, autours des vieux ksars (pentapole) et s'étendent progressivement vers les oasis environnantes.

3.2. Paramètres hydrogéologiques

Type de nappe (Groundwater occurrence)

Les observations que nous avons retenu sur terrain, ainsi que l'étude des coupes lithologiques des sondages et des puits, le tous révèlent que la nappe de l'oued M'zab est en régime libre sur l'ensemble de l'étendu de la vallée. Le recouvrement surmontant la zone saturée, composé essentiellement d'alluvions et de sables est très perméable. Les cotes attribuées au critère " Type de nappe" figurent dans le tableau 1. L'interpolation par krigeage simple (Gratton Y. ,2002) nous a permis de créer la carte en mode raster de ce paramètre, le maillage est de 30x30m (Fig.6). La carte mis en évidence une nappe à régime libre sur l'ensemble de la zone d'étude, à l'exception sur les périphériques de la vallée et sur quelques endroits isolés, qui correspond à l'affleurement des massifs calcaires turoniens non aquifères.

Table1 : Notation de type de nape

| <i>Notation</i> | <i>Cote</i> | <i>Type de nappe</i> |
|-----------------|-------------|------------------------------|
| 0 | 0 | <i>Aucun aquifère</i> |
| - | 0,1 | <i>artésien</i> |
| - | 0,2 | <i>confiné</i> |
| - | 0,3 | <i>Semi-confiné</i> |
| - | 0,4 – 0,6 | <i>Libre avec couverture</i> |
| 1 | 0,7 -1 | <i>Libre</i> |

Table2 : Notation de l'inpacte de la ZNS

| <i>Lithologie de l'aquitard</i> | <i>Cote</i> | <i>Notation</i> |
|---|-------------|-----------------|
| <i>Sol résiduel</i> | 0,4 | - |
| <i>Limon alluvial, argile, marne, calcaire fin</i> | 0,5 | - |
| <i>Sable éolien, siltite, tuf, roches ignées ou métamorphiques fracturées</i> | 0,6 | - |
| <i>Sable et gravier, grès, tuf</i> | 0,7 | 0,7 |
| <i>Gravier (colluvion)</i> | 0,8 | 0,8 |
| <i>Calcaire</i> | 0,9 | 0,9 |
| <i>Calcaire fracturé ou karstique</i> | 1 | - |

Table3 : Notation de la profondeur

| Profondeur (m) | Cote | Notation |
|----------------|------|----------|
| > 2 | 1 | 1 |
| 2 – 5 | 0,9 | 0,9 |
| 5 – 10 | 0,8 | 0,8 |
| 10 – 20 | 0,7 | 0,7 |
| 20 – 50 | 0,6 | 0,6 |
| 50 – 100 | 0,5 | - |
| > 100 | 0,4 | - |

Table 4 : Caractéristiques physico-chimiques des eaux de la nappe d'inféro-flux de l'Oued M'zab

| Paramètre | Unité | min | max | moy | Ecart-type |
|---------------------------------|-----------------------|------|-------|------|--------------|
| Cond | ms/cm | 1,41 | 8,34 | 4,76 | 1,74 |
| Salinité | mg/l | 0,4 | 4,9 | 2,82 | 1,29 |
| O ₂ | mg/l | 0,04 | 4,6 | 1,28 | 1,68 |
| MES 105°C | mg/l | 0 | 71 | 35,5 | - |
| TH | mg/l | 494 | 3360 | 2146 | 809 |
| Ca ²⁺ | mg/l | 101 | 561 | 331 | 121 |
| Mg ²⁺ | mg/l | 58 | 563 | 292 | 138 |
| Na ⁺ | mg/l | 125 | 1970 | 786 | 539 |
| K ⁺ | mg/l | 0,8 | 80 | 36 | 25 |
| SO ₄ ²⁻ | mg/l | 563 | 2597 | 1796 | 777,5 |
| Cl ⁻ | mg/l | 241 | 1633 | 859 | 339 |
| HCO ₃ ³⁻ | mg/l | 3,42 | 1658 | 174 | 360 |
| O,PO ₄ ³⁻ | mg/l | 0 | 0,2 | 0,04 | 0,07 |
| NO ₃ ⁻ | mg/l | 7,1 | 60 | 24 | 15 |
| NO ₂ ⁻ | mg/l | 0 | 3 | 0,13 | 0,62 |
| NH ₄ ⁺ | mg/l | 0 | 1,164 | 0,15 | 0,31 |
| DCO | mg/l d'O ₂ | 0,96 | 38 | 15 | 12,33 |
| DBO ₅ | mg/l d'O ₂ | 0 | 120 | 19,5 | 42 |

Impact de la ZNS (Overall aquifer class)

La nature lithologique de la zone non saturée joue un rôle prépondérant dans la propagation du polluant vers la nappe. En fonction de nos investigations sur terrain, combinées aux données des coupes de quelques sondages exécutés dans la zone, on a pu cartographier ce critère sur l'ensemble de la vallée du M'zab. Les cotes du critère "Impact de la zone non saturée" définies selon la méthode GOD, figurent dans le tableau 2. La carte interpolée par krigeage du critère "D" (fig. 7), montre que le long du lit mineur de l'oued la profondeur de la nappe est très faible, d'où un indice de vulnérabilité élevé, par contre sur les périphériques de la vallée et le long de ces affluents (Touzouz, N'tissa et Azouil) la profondeur est relativement élevée, l'indice est faible. La modélisation sphérique par krigeage et le calcul du semi-variogramme nous a permis de rasteriser ce paramètre à maillage de 30x30m par pixel. La carte interpolée (fig. 8) révèle que la zone non saturée de l'ensemble de la vallée est formée de sable et de gravier perméable. L'axe de l'oued est constitué par des galets et de graviers sableux fortement perméable.

Profondeur à la nappe (Depth to groundwater table)

Une campagne de mesure des niveaux d'eau de la nappe phréatique de la vallée du M'zab, a été effectuée au cours de la période avril - mai 2011, le nombre de points utilisés est de 66 puits couvrant l'ensemble de notre secteur d'étude. Les cotes du critère "Profondeur à la nappe" définies selon la méthode GOD, et les notations accordées figurent dans le tableau 3. Par interpolation nous avons réalisé la carte d'égale profondeur de la nappe en mode raster à maillage de 30x30m (Fig. 8).

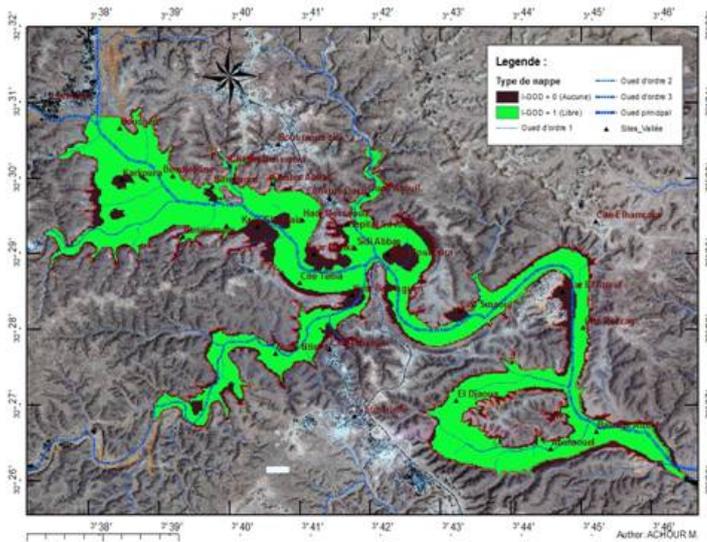


Fig. 6 : représentation du critère G (maillage 30x30m)

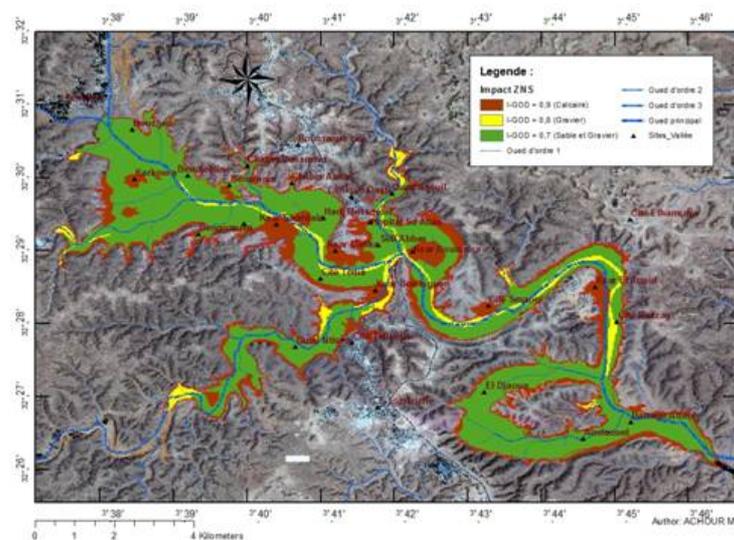


Fig. 7 : représentation du critère O (maillage 30x30m)

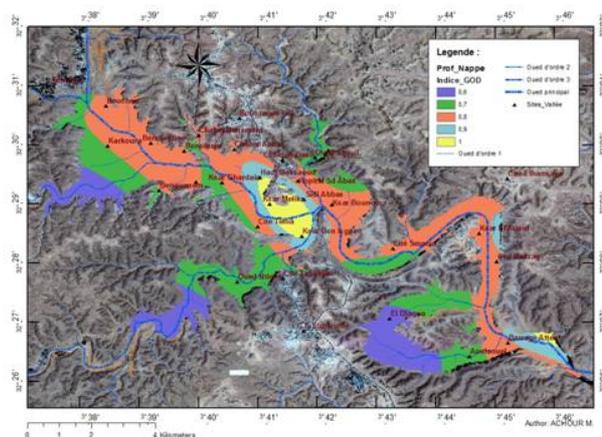


Fig. 8 : représentation du critère D (maillage 30x30m)

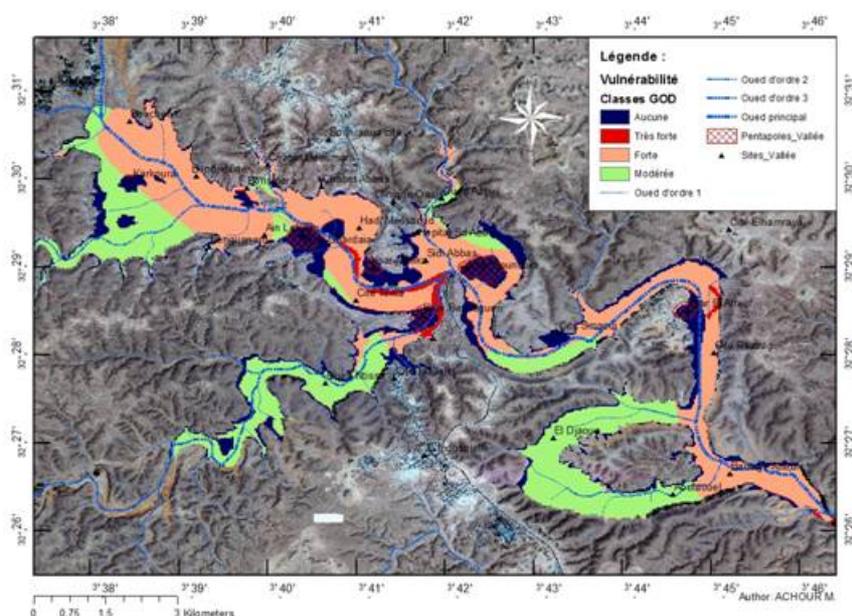


Fig. 9 : - Carte de l'indice de vulnérabilité de la nappe d'infero-flux de l'oued M'zab (maillage 30x30m).

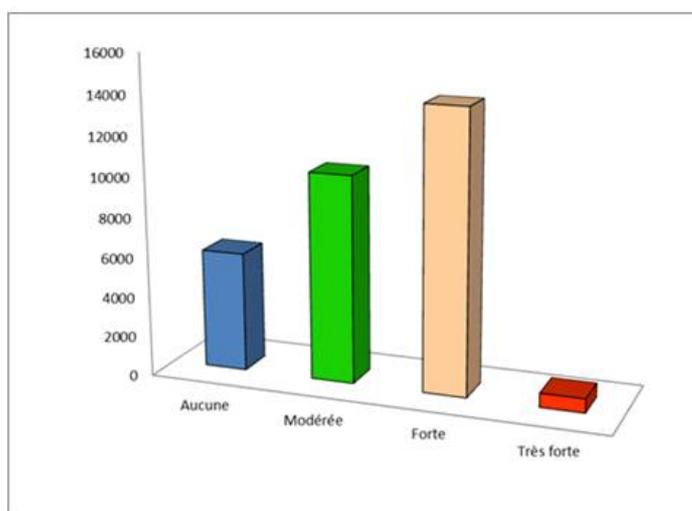


Fig. 10 : - Fréquence de l'indice de vulnérabilité GOD du secteur d'étude

4. Discussion

Modélisée par krigeage, La carte de vulnérabilité réalisée par le calcul de l'indice de vulnérabilité GOD, révèle la présence de quatre classes d'indices qui sont : aucune, modérée, forte et très forte, avec une prédominance nette de la classe forte (fig. 9, 10). Les classes de vulnérabilité faible et très faible n'existent pas dans notre zone d'étude. L'analyse spatiale de l'indice GOD, illustré dans la figure 9, indique la répartition de ces classes qui s'effectue comme suit :

- Secteurs à aucune vulnérabilité, ils se localisent le long des périphériques de la vallée de l'oued M'zab et de ces affluents (N'tissa et Azouil). On les retrouve aussi sous forme d'ilots au sein de la vallée. Cette classe de vulnérabilité représente 19% de la région étudiée. L'indice nul de vulnérabilité est imputé par le fait, que ces secteurs coïncident avec les calcaires massifs imperméables du Turonien.

- Secteurs à classe de vulnérabilité modérée, ces secteurs coïncident principalement avec les zones à forte activité oasienne Touzouz en amont, N'tissa et Azouil au centre et oasis d'El Atteuf en aval. Cette classe représente 34% de la région. L'indice modéré de la vulnérabilité caractérisant ces secteurs, est lié principalement à la profondeur relativement élevée de la nappe dans ces zones. La perméabilité relativement élevée de la zone non saturée (vadose), composée essentiellement de sable et de gravier, pouvant faciliter l'infiltration des contaminants présents à la surface.

- Secteurs à classe de vulnérabilité forte, qui s'étalent sur l'ensemble de la surface de la vallée de l'oued M'zab en allant de l'amont vers l'aval. Cette classe de vulnérabilité est prépondérante, elle représente 45%, soit environ la moitié de la région étudiée. L'indice fort de la vulnérabilité dans ces contrées est dû, vraisemblablement, à la faible profondeur de la nappe, comprise essentiellement entre 10 et 4 mètres, et d'autre part, à la lithologie de la zone non saturée constituée principalement de sables moyens et grossiers alluvionnaires très perméables, engendrant ainsi des conditions très favorables à l'infiltration de tout polluant de la surface vers la nappe.

- Secteur à classe de vulnérabilité très forte, localisé dans la partie centrale le long du lit mineur de l'oued M'zab. Cette classe représente 2% de la zone étudiée. Les valeurs élevées de l'indice de vulnérabilité dans ces zones s'expliquent par la très faible profondeur de la nappe qui est parfois nulle, et aussi la nature lithologique de cette dernière qui se compose d'alluvions et de sables grossiers très perméables.

5. Validation de la carte de la vulnérabilité

Afin de tester et de valider la carte de vulnérabilité obtenue par le système GOD, nous avons procédé à une campagne de prélèvement et d'analyse chimique des eaux portée sur 20 puits captant la nappe.

Les résultats sont représentés dans le tableau 4. Les Matières en suspension (MES), les nitrates et l'oxygène dissous fournissent des indications intéressantes de la pollution et contribuent ainsi à la détermination de la potabilité des eaux (Baba Amer Z.,2001). Les résultats montrent un grand écart entre les valeurs minimales et maximales enregistrées de MES et la salinité, les fortes valeurs ont été observées au niveau des puits situés au centre de la vallée, les MES atteignent une valeur de 71 mg/l avec une conductivité de 7,48 ms/cm. Cette augmentation s'explique par le fait d'une contamination extérieure de la nappe par l'infiltration des eaux usées, notamment au centre de la vallée, qui est caractérisé par une très forte densité urbaine.

Nous avons constaté aussi des très faibles concentrations en oxygène dissous dans certains puits ; dus, vraisemblablement, à la présence des micro-organismes (0,04 – 4,6 mg/l). Les nitrates montrent la même variation spatiale autant que les ions d'ammonium. Par contre les valeurs des nitrates oscillent entre 7,1 et 60 mg/l, elles demeurent, cependant, acceptables par rapport à l'ampleur de la pollution dans la région. Pour la DBO5 et la DCO, leur variation indique que les concentrations associées sont significativement, supérieures aux seuils fixés par les normes OMS, les valeurs varient entre 0 et 120 mg/l pour la DBO5 mg/l O₂, et entre 0,96 et 38 mg/l O₂ pour la DCO. En général, les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de la nappe d'Inféro-flux de l'oued M'zab, révèlent de faibles concentrations des paramètres de pollution, ce qui laisse dire que l'ampleur de la pollution des eaux de la nappe n'est pas aussi élevée.

Conclusion

La cartographie de la vulnérabilité à la pollution de la nappe de l'oued M'zab par la méthode GOD, nous a permis de faire une idée assez nette sur les zones sensibles à la contamination. Quatre classes de vulnérabilité ont été décelées ; aucune, modérée, forte et très forte. L'ensemble du territoire de la vallée est dominé par une forte vulnérabilité, soit 45% de la zone étudiée. Ce qui laisse dire que la vallée de l'oued M'zab est sujette à d'éventuelle contamination à partir de la surface. Les résultats des analyses physico-chimiques des eaux de la nappe ont montré que, l'ampleur de la pollution n'est pas aussi effarante.

En outre, la carte de la vulnérabilité à la pollution que nous avons établie, s'harmonise d'une manière satisfaisante avec les concentrations des éléments polluants. A cet effet, des mesures de protection de ces ressources souterraines doivent être établies, entre autres ; le contrôle permanent de toutes les activités anthropiques nuisibles au sein de la vallée (les stations

de lavage, les stations de carburant et les pratiques agricoles). L'instauration d'un réseau d'assainissement adéquat et de limiter le recours à l'utilisation des fosses septiques.

Références

- Achour M., Chenafi A. Hassani M.I. (2015).** Contribution de l'MNT à la construction d'une Géodatabase à variable morphométrique d'un bassin versant en zone aride : cas du bassin versant de l'Oued M'zab, Algérie. *International Journal for Environment & Global Climate Change*, ISSN 2310-6743. V. 3, Issue 2, p 84-92.
- Achour M. (2014).** Vulnérabilité et protection des eaux souterraines en zone aride, cas de la vallée du M'zab. Thèse magister Univ. Oran.
- Achour M., Bensaha H. Chenafi A. Hassani M. I. (2012).** Contribution du SIG à l'élaboration d'une méthodologie de calcul des paramètres physiographiques d'un bassin versant, cas du bassin versant du M'zab (Algérie). Colloque international, Terre et Eau Univ. Annaba, Algérie novembre 2012.
- Achour M., Bensaha H. (2010).** Réflexions pour préserver l'environnement, cas de la vallée du M'zab. Communication présentée au colloque international, Univ. Provence Marseille, France janv. 2011. (<http://www.lped.org/colloque-imep/fr/index.html>).
- ANRH (2011).** Inventaire des forages et enquête sur les débits extraits de la nappe albiennne dans la Wilaya de Ghardaïa. Agence Nationale des Ressources Hydrauliques. DRS. Ouargla ; Algérie.
- Baba Amer Z. (2001).** Analyse d'une famille d'herbicides triazines par FT/IR et GC/MS Application à la recherche des polluants organiques dans un puits d'El Atteuf. Thèse magister Univ. Ouargla.
- BRGM (2005).** Cartographie de la vulnérabilité intrinsèque des eaux souterraines en région Nord-Pas-de-Calais, RP 54238-FR, 113p.
- Gouaidia & al. (2011).** Evaluation de la vulnérabilité d'une nappe en milieu semi-aride et comparaison des méthodes appliquées : cas de la nappe de Meskiana (Est algérien) *Sécheresse* 22 : 35-42.
- Hadj Brahim Abl (2016).** Contribution à l'étude piézométrique de la nappe albiennne dans la région du M'zab, Mémoire licence académique Univ Kasdi Merbah, Ouargla.
- Murat V. & al. (2000).** Vulnérabilité à la nappe des aquifères fracturés du sud-ouest du Québec : évaluation par les méthodes DRASTIC et GOD. Commission géologique du Canada, Recherches en cours 2003-D3, 14p.