

Contribution à la régionalisation stochastique des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines dans le cadre d'un SIG, application à la région de Djelfa

GHIBECHE Ismail⁽¹⁾, AZOUZI Blel⁽²⁾, HARTANI Tarik⁽³⁾

⁽¹⁾ GHIBECHE Ismail *Département de Génie Rural, Ecole Nationale Supérieure Agronomique*

⁽²⁾ AZOUZI Blel *Université de Djelfa*

⁽³⁾ HARTANI Tarik *Département de Génie Rural, Ecole Nationale Supérieure Agronomique*

i.ghibeche@yahoo.fr

azouzi@uni-bremen.de

t.hartani@ina.dz

Résumé— L'objectif de cette étude est la contribution à la gestion intégrée des ressources en eau par l'étude cartographique (répartition spatiale) des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de la région de Djelfa dans le cadre d'un SIG sur la base de la géostatistique en utilisant la variographie et le krigeage comme outil d'interpolation, afin d'avoir une idée sur la qualité de l'eau .

On a constaté que la zone la plus affectée par une élévation excessive de l'ensemble des valeurs des éléments que nous avons étudié sont localisés dans les parties nord-est, le centre et sud-est caractérisées par des activités agricoles et le plus important leurs structures géologiques salines.

Les résultats obtenus ont permis de mettre en évidence que la quasi-totalité des points d'eaux étudiés sont caractérisés par la prédominance des faciès chimiques chloruré et sulfaté calcique et magnésiennes et que la qualité des eaux souterraines est convenable à l'irrigation et que la zone nord-ouest et quelques poches dans le centre caractérisée par des eaux potables.

Mots Clés— Gestion intégrée, cartographie, SIG, géostatistique, variographie, krigeage.

I. INTRODUCTION

AU cours de ces dernières années, de nombreuses questions sont actuellement posées sur l'importance des ressources en eaux souterraines exploitées et sur leur qualité. En effet, la distribution d'une eau pouvant être consommée sans inconvénients et répondant aux exigences de qualité de l'utilisateur moyen nécessite plusieurs analyses physico-chimiques.

En Algérie, les ressources en eau proviennent des eaux de surface et des eaux souterraines renouvelables et non renouvelables. Il est à noter que ces ressources sont très variables notamment celles qui proviennent des nappes tributaires des aléas climatiques. L'exploitation de ces ressources est très intense avec les besoins grandissants. La connaissance des ressources en eau est la condition nécessaire pour une bonne gestion. Le système d'information géographique permet d'effectuer une analyse spatiale dans le but d'avoir des cartes de synthèse afin d'identifier la qualité des eaux souterraines [1].

La cartographie constitue le moyen le plus adapté pour une bonne représentation spatiale. La géostatistique, une approche caractérisant la structure de la variabilité spatiale d'une propriété quelconque ainsi que son estimation, s'avère être très appropriée pour cartographier un phénomène naturel. L'étude géostatistique comprend deux phases essentielles:

- La première est la caractérisation de la structure spatiale de la variable régionalisée;
- La seconde est l'estimation de cette variable en utilisant un outil d'interpolation spatiale.

II. PRESENTATION DE LA ZONE D'ETUDE

A. Situation de la wilaya

La Wilaya de Djelfa est située dans la partie centrale de l'Algérie du Nord au delà des piémonts Sud de l'Atlas Tellien en venant du Nord dont le chef lieu de Wilaya est à 300 kilomètres au Sud de la capitale. Elle est comprise entre 2° et 5° de longitude Est et entre 33° et 35° de latitude Nord, avec une superficie totale de 32.256,35 km² représentant 1,36% de la superficie totale du pays se compose actuellement de 36 communes regroupées en 12 Dairate [2].

Elle est limitée:

- Au Nord par les Wilayate de Médéa et de Tissemsilt
- A l'Est par les Wilayate de M'Sila et Biskra
- A l'Ouest par les Wilayate de Laghouat et de Tiaret
- Au Sud par les Wilayate de Ouargla et de Ghardaïa

B. Géologie

Dans le cadre géologique régional, la structure actuelle de l'Algérie du Nord est due aux mouvements orogéniques hercyniens et Alpines. Ces manifestations tectoniques ont permis l'individualisation des grands ensembles géologiques, tel que l'Atlas saharien auquel appartient notre secteur d'étude [3].

C. Hydrologie

Le réseau hydrographique dans cette région est très dense avec des ramifications à travers l'ensemble des reliefs. La direction des principaux oueds est souvent différente de celle des reliefs, elle leur est fréquemment perpendiculaire Nord-Sud à Nord-Ouest-Sud-Est (à l'exemple des Oueds M'zi, Messad, El Djorf, ...etc).

Il arrive cependant qu'elle soit conforme à ces reliefs comme les vallées affluentes développées à l'intérieur des dépressions résultant de l'inversion des reliefs tels est le cas des combes des Djebels Lazreg et de Tebag au Sud-Ouest de Fernane et des synclinaux perchés de Bou Kahil de Djebel Zerga et de Djelfa. Par ailleurs, la plupart des oueds dans cette région, aride à sub-aride, ne coulent que lorsqu'il pleut [4].

D. Hydrogéologie

On définit l'aquifère comme un corps (couche, massif) de roches perméable comportant une zone saturée suffisamment conductrice d'eau souterraine pour permettre l'écoulement significatif d'une nappe souterraine et le captage de quantité d'eau appréciable [5]

La wilaya de Djelfa est caractérisée par quatre nappes principales :

La plaine de Ain Oussera, les nappes de Zahrez, le synclinal Nord de Djelfa et le synclinal Sud de Ain El lbel, et chaque nappe a des caractéristiques spéciales.

E. Potentialités en eaux reconnues

Les potentialités en eau totale (superficielles et souterraines) reconnues dans la région de Djelfa sont estimées à (150 Hm³/an) [4].

F. Climat

D'une manière générale, la zone d'étude se classe dans l'étage bioclimatique semi-aride caractérisé par l'existence de deux saisons :

- saison estivale sèche et chaude,
- saison hivernale froide.

III. Matériel et Méthodes

A. Collecte et mise en forme des données

Les échantillons analysés sont prélevés de forages et de puits dont les données sont collectées de l'agence nationale des ressources hydrauliques (A.N.R.H) de la wilaya de Djelfa. Les points d'eau analysés correspondent à la campagne 2006 pour les paramètres physicochimiques et la campagne 2009 pour les niveaux piezométriques, et sont au nombre de 86 puits et forages répartis sur le territoire de la zone d'étude et ce sont les données disponibles, et on a utilisé la carte topographique de Djelfa à l'échelle de 1/200000. Les analyses ont été effectuées au laboratoire de l'ANRH (d'Alger) pour chaque point d'eau. La zone d'étude est localisée entre les latitudes 80.000 m et 219.000 m Nord

et les longitudes 461.000 m et 564.000 m Ouest sur une superficie d'environ 14360 km² et touche des parties des bassins versants 1, 6 et 17.

B. Création d'une banque de données

La réalisation de la banque de données consiste à créer un fichier de données disposant respectivement de colonnes représentant les coordonnées (X, Y) et les paramètres étudiés sous forme d'une extension data (.data) à partir du logiciel Surfer, puis la localisation des points sur la carte topographique qui déjà calée par le logiciel Mapinfo. Le Krigeage produit un maillage régulier des valeurs interpolées où on utilise un krigeage par points. Une fois le variogramme est établis, avec le programme Surfer les données krigées sont stockées dans un fichier avec l'extension «grid». Le logiciel Surfer utilise le fichier «grid» pour établir la cartographie des paramètres étudiés. Il n'est pas visé à obtenir une carte manifestant exactement le phénomène tel qu'il est, mais on se contente bien d'une carte représentant l'aspect général du phénomène et se rapproche de plus en plus de la réalité observée.

IV. RESULTATS ET INTERPRETATION

A. Variogramme

La géostatistique est un outil d'analyse de la structure de variation et d'organisation spatiale de l'information géographique [6]. Ces techniques reposent sur l'analyse numérique de la dépendance des échantillons dans l'espace.

La représentation graphique obtenue représente ce qu'on appelle le variogramme expérimental qui doit être ajusté par des modèles de variogramme théorique qui approximent le mieux le nuage de points [7] et [8]. Quatre principaux modèles peuvent lui être ajustés : exponentiel, gaussien, sphérique ou linéaire [9].

B. Conductivité électrique

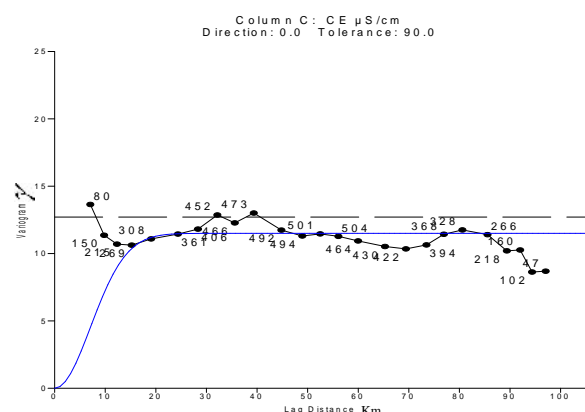


Fig. 1: Variogramme des valeurs de la conductivité électrique
Le variogramme expérimental des conductivités électriques est ajusté à un model gaussien représentant un palier (scale) de 11,5 et portée (length) égale à (10 km) avec

une anisotropie de ratio 1 et un angle 0°. D'après ce variogramme, on peut dire que cette structure spatiale montre une autocorrélation régionale entre les différents couples des conductivités électrique jusqu'à une distance de (10 km), cette dernière a été prise comme limite pour fixer les dimensions de la maille (maillage) utilisée comme pas d'interpolation par la méthode de krigeage. Le palier indique la variance totale de ce paramètre et sa dispersion résiduelle.

C. Cartographie

La cartographie constitue le moyen le plus adapté pour une bonne représentation spatiale. La géostatistique qui est une approche caractérisant la structure de la variabilité spatiale d'une propriété quelconque ainsi que son estimation s'avère être très appropriée pour cartographier un phénomène naturel [10]. Cette approche a été utilisée dans notre travail comme moyen d'interpolation dans le but de représenter les variations spatiales des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines sur les cartes. Une fois la structure spatiale de la variable à étudier par le biais du variogramme réalisé, l'interpolation par Krigeage peut avoir lieu. La carte de la variabilité spatiale de la conductivité électrique représentée sur la fig. 2.

D. Conductivité électrique

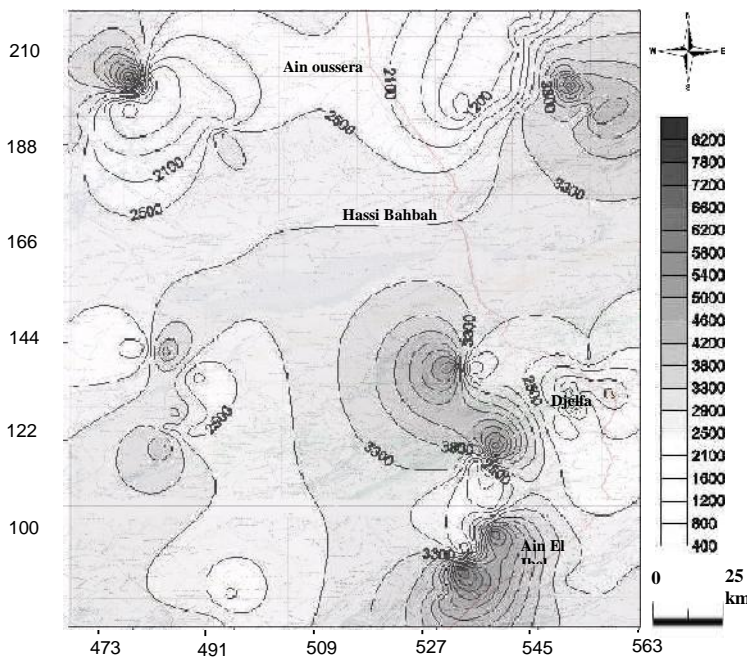


Fig. 2: Carte de répartition des teneurs de la conductivité électrique ($\mu\text{S/cm}$)

La conductivité électrique est un paramètre indiquant la salinité de l'eau, on peut constater que la carte de répartition des conductivités électriques de nos échantillons montre bien que notre région est caractérisée par la présence de valeurs très élevées par rapport à la norme de l'O.M.S (2100

$\mu\text{S/cm}$), traduisant de fortes teneurs en matière minérale.

Donc la qualité de l'eau souterraine de ces zones reste à désirer et moins propre à la consommation humaine. La conductivité a, la plupart du temps, une origine naturelle, elle peut également avoir pour origine l'activité humaine causée par les effluents industriels ou domestiques comme c'est le cas dans notre région où les teneurs les plus élevées se retrouvent dans les zones urbaines telle que la ville de Djelfa et les zones à vocations agricoles telle que la zone de Ain El Ibel.

E. Classification des eaux

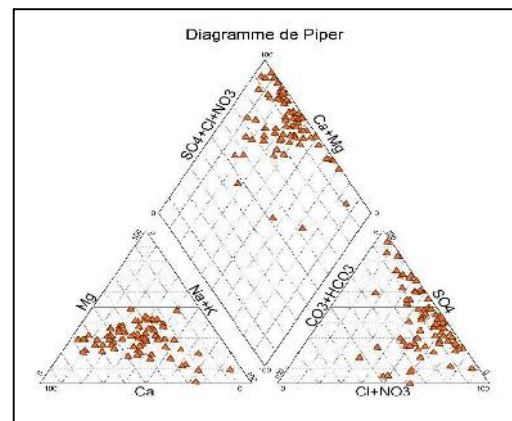
F. Diagramme de Piper

Le diagramme de Piper présente un grand intérêt. Il est le plus utilisé dans la classification des eaux. Il est composé de deux triangles représentant la répartition des anions et celle des cations, respectivement, et d'un losange représentant la répartition synthétique des ions majeurs. Ce diagramme permet de catégoriser le faciès chimique d'une eau ou d'un aquifère.

La répartition spatiale des différents faciès chimiques a été représentée sur la figure 1. D'une manière générale nous distinguons deux grandes familles :

- Famille des eaux Chlorurées et sulfatées calciques et magnésiennes
- Famille des eaux sulfatées

Cette augmentation en éléments caractéristiques des pollutions anthropiques (Cl^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} et SO_4^{-2}) est à corrélérer avec l'occupation et la nature calcimagnésiques du sol.



Fi

g. 3: Diagramme de Piper

G. Diagramme de Riverside

Ce diagramme est basé sur les valeurs du rapport d'absorption en sodium (SAR) et de la conductivité électrique des ions contenus dans l'eau. L'objectif étant de représenter les échantillons sur le diagramme de Riverside afin de faciliter la caractérisation des eaux profondes sur leur

aptitude à l'irrigation. D'après les résultats obtenus par le diagramme de Riverside, nous avons constaté les classes suivantes : C3-S1; C4-S1; C4-S2.

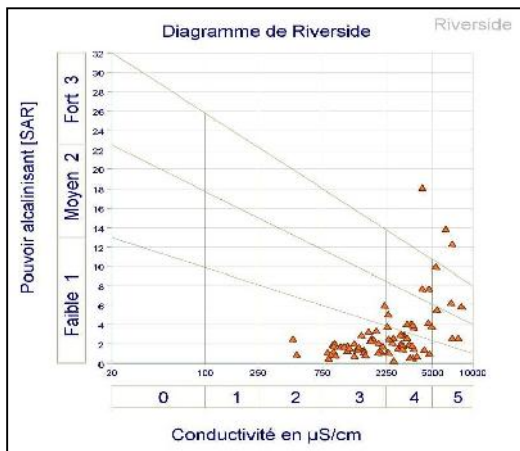


Fig. 4: Diagramme de Riverside

C3-S1 regroupe une classe où les risques de salinisation sont moyens et ceux d'alcalinisation sont faibles, eau convenant à l'irrigation de cultures tolérantes au sel, sur des sols bien drainés ;

C4-S1 ce sont des eaux qui présentent un fort danger de salinité et faible risque d'alcalinité.

L'utilisation de cette classe d'eau pour l'irrigation nécessite des plantes tolérantes et des doses de lessivage sur des sols légers et bien drainés ;

C4-S2 cette classe présente un fort danger de salinité et une alcalinité moyenne, c'est une mauvaise qualité d'eau à utiliser avec beaucoup de précautions qu'aux sols légers et bien drainés et des plantes tolérantes à la salinité, le lessivage est très important.

V. CONCLUSION

Le travail présenté dans ce document est l'étude physico-chimique et nous a permis d'aborder directement les problèmes de la salinité et la pollution des eaux souterraines par certains éléments.

La cartographie des nappes souterraines de la région de Djelfa, nous amène à conclure que les zones les plus affectées par une élévation excessive de l'ensemble des valeurs étudiées des éléments chimiques sont localisées dans le nord, le centre et le sud du côté Est, ainsi que les répartitions des différents éléments dépendent du faciès géologique des formations aquifères qui sont des zones connues par leurs activités agro-pastorales où l'utilisation intensive des engrais sur les sols.

Les eaux usées (domestiques et industrielles) souvent déversées directement dans les oueds, participent fortement au changement de la qualité des eaux souterraines.

Enfin, et pour compléter la recherche nous proposons de traiter les points suivants :

1. Proscrire les déversements des résidus industriels et domestiques au dessus de l'aquifère ;
2. Instituer des programmes de sensibilisation pour les agriculteurs afin qu'ils comprennent que les ressources disponibles pourraient être utilisées plus rationnellement;
3. Faire les analyses des eaux requises pendant toute l'année au niveau de l'ANRH surveillance régulière de la qualité des eaux de la nappe afin d'avoir un suivi de l'évolution de celle-ci pour faciliter et aider les chercheurs dans leurs études en vue de résoudre ces problèmes.

REFERENCES

- [1] Abdelbaki C. et Boukli H. F. (2007). Etude du phénomène de dégradation des eaux souterraines du groupement urbain de Tlemcen. *Revue des Energies Renouvelables* Vol. 10 (2), 257-263.
- [2] Direction de la Planification et de l'Aménagement du Territoire "D.P.A.T.", (2007). Monographie de la Wilaya de Djelfa. Vol.1, 211p.
- [3] Chibane B., Boutaleb A., Lacroix M. (2010). Etude hydrochimique et approche isotopique en région semi-aride: cas du synclinal de Djelfa (Algérie). *European journal of scientific research*. Vol.45 (2), 270-290.
- [4] Agence Nationale d'Aménagement du Territoire "A.N.A.T.", (2003). Prospective territoriale pour un développement durable et intègre dans la wilaya de Djelfa, 183p.
- [5] Castany G. (1979). Principes et méthodes de l'hydrogéologie. Dunod université Bordas, Paris, 238 p.
- [6] Trangmar B.B., Yost R.S., Uehara G., 1985. Application of geostatistics to spatial studies of soil properties. *Advances in Agronomy*. Vol.38, pp.45-94.
- [7] Mathieu Q. (2009). Cartographie à l'échelle de la parcelle agricole de variables indicatrices de la capacité des sols à fixer le phosphore à l'aide de la télédétection et des nouvelles technologies. *Philosophiae Doctor*. Université du Québec. Institut National de la Recherche scientifique - Centre Eau, Terre et Environnement (INRS-ETE).161p.
- [8] Baillargeon S. (2005). Le krigeage : revue de la théorie et application à l'interpolation spatiale de données de précipitations. Université Laval, 128p.
- [9] Hamouni M. (2006). Contribution à la détermination des unités homogènes du sol par différentes approches de cartographie numérique. Mémoire de Magister, Institut National Agronomique d'Alger, 120 p.
- [10] Rossi J.P., Lavelle P. et Tondoh J.E. (1995). Statistical tool for soil biology, geostatistics analysis. *Journal soil biology* 31(4), 173-181.