

# LA REGIONALISATION STOCHASTIQUE DES PARAMETRES HYDRO CHIMIQUES DANS LE CADRE D'UN SIG : CAS DES NITRATES DANS LA REGION D'AIN OUSSERA

## A STOCHASTIC REGIONALIZATION OF THE HYDRO CHEMICAL PARAMETERS BY GIS: CASE OF THE NITRATE IN THE REGION OF AIN OUSSERA.

BELHOUADJEB FATHI ABDELLATIF<sup>(1)</sup>, TOAIBA ABDELHALIM<sup>(2)</sup>, AZZOUZI BLEL<sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Institut National de la Recherche Agronomique Algérie (INRA Djelfa)

<sup>(2)</sup> Agence Nationale pour la conservation de la Nature, Algérie (ANN Laghouat)

<sup>(3)</sup> Université Ziane Achour de Djelfa, Algérie

Belhouadjebfathi@gmail.com

### RESUME

L'objectif de cette étude est la régionalisation stochastique des paramètres hydro chimiques dans le cadre d'un système d'information géographique (SIG) sur la base de la géostatistique en utilisant la variographie pour étudier la structure spatiale des variables étudiées et le krigeage comme outil d'interpolation. La région d'Ain Oussera a été choisie comme exemple d'application. On a remarqué un variogramme expérimental de type exponentiel avec une portée limite de 8Km. Après régionalisation, on a remarqué que les valeurs les plus élevées se répartissent uniformément dans notre région de la direction du Sud Ouest vers le Nord Est.

**MOTS CLES:** Régionalisation stochastique, SIG, variographie, krigeage, pollution.

### ABSTRACT

The aim of this study is a stochastic regionalization of the hydro chemical parameters by a geographic information system (GIS) on the basis of the geostatistical approach by using the variography for space structure and the kriging as tool for interpolation. The area of Ain Oussera was selected like example of application. It noticed an experimental variogram of the exponential form with a length limits to 8km. It was noticed that the zone most affected by an excessive increase in the values of the chemical elements that we studied is distributed in our area from south west to north east.

**KEYWORDS:** Stochastic regionalization, GIS, variography, kriging, pollution.

## 1 INTRODUCTION

La géostatistique est connue depuis près de 40 ans. Tout a commencé dans les mines d'or du Witwatersrand où Daniel Krige proposa une correction statistique à la manière traditionnelle d'estimer la teneur d'un bloc de minerai à partir d'un nombre limité d'échantillons pris autour du bloc à exploiter (Dagbert, 2000). La théorie des variables régionalisées était formulée 10 ans plus tard par Georges Matheron qui introduisit un outil pour analyser la continuité spatiale des teneurs appelé "le variogramme" et une méthode d'estimation basée sur le variogramme appelée "le Krigeage" d'après le nom de D. Krige (Dagbert, 2000). Depuis, cette approche a trouvé de l'ampleur et la vulgarisation dans presque toutes les branches de la science, particulièrement en sciences de l'eau où pour la première fois Journal de l'école des mines de Paris a mis des applications de la géostatistique dans l'estimation des paramètres hydrogéologiques des nappes aquifères. La géostatistique a donc démontré sa puissance de traitement des données et de contrôle des teneurs, ainsi que de la qualité de la régionalisation. Le terme "régionalisée" a été proposé par G.Matheron en 1963 pour qualifier un phénomène se déployant dans l'espace (et/ou dans le temps) et y manifestant une certaine structure. Une variable caractérisant un tel phénomène est appelée "variable régionalisée". Matheron (1963) a résumé le but de la théorie des variables régionalisées en trois points essentiels : 1- D'établir les bases théoriques permettant de rendre compte des caractéristiques structurales des phénomènes naturels sous une forme mathématique appropriée. 2- Elle couvre l'ensemble des possibilités allant des surfaces (ou courbes) les plus lisses jusqu'aux plus accidentées. 3- De fournir les moyens pratiques pour la résolution des divers problèmes

de l'estimation qui se posent à partir d'un échantillonnage fragmentaire.

L'objectif de notre travail est la régionalisation dans le cadre d'un système d'information géographique (SIG) en étudiant la variabilité spatiale des paramètres physico-chimique par une approche géostatistique basée sur la théorie des variables régionalisées qui considère les paramètres étudiés comme variables aléatoire et consiste à déterminer L'auto-corrélation de ces variables en fonction de la distance, une telle auto-corrélation peut manifester une structure dans l'espace établie sous forme d'une fonction Variogramme (Azouzi, 1993), une fois la structure par variogramme connue, l'estimation linéaire dans l'espace considéré se fait par la méthode du Krigeage. La régionalisation des paramètres étudiés par l'approche géostatistique s'articule en trois phases : Etude de la structure spatiale par Variographie; Estimation par Krigeage; Tracé des cartes. Pour notre étude de la régionalisation des paramètres hydro chimiques afin de mettre le point sur la qualité d'eau au niveau de la zone d'Ain Oussera on a choisi la grandeur hydro chimique des nitrates.

## 2 MATÉRIELS ET MÉTHODES

### 2.1 Le variogramme

Un variogramme est caractérisé par trois paramètres essentiels : La portée (Length), le palier (Scale) et l'effet de pépite (nugget effect).

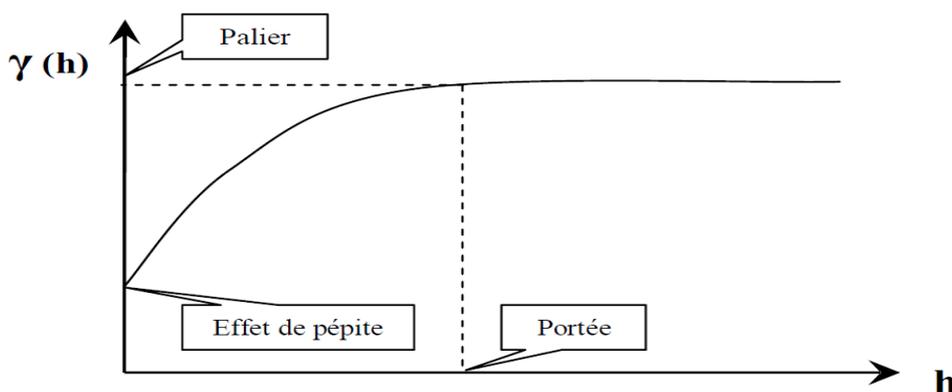


Figure 01 : Les caractéristiques du variogramme

Pour pouvoir bien exploiter le variogramme et d'en tirer le maximum d'informations sur la structure spatiale du phénomène, il est nécessaire d'approximer le graphe du variogramme par un modèle théorique connu. Il y a 4 types de modèles d'ajustement du variogramme à savoir (Missadji, 1989) : Modèle linéaire, c'est un schéma sans palier. Modèle Sphérique, c'est un schéma de transition à palier avec un comportement linéaire à l'origine. Modèle exponentiel, c'est un schéma de transition à palier avec un

comportement linéaire à l'origine. Modèle gaussien, c'est un schéma de transition à palier avec un comportement parabolique à l'origine.

### 2.2 Le Krigeage

Le Krigeage est une méthode stochastique d'interpolation spatiale qui prévoit la valeur d'un phénomène naturel en des

sites non échantillonnés par une combinaison linéaire sans biais et à variance minimale des observations du phénomène en des sites voisins (Baillargeon, 2005). Les caractéristiques du Krigeage sont : 1 - Il est linéaire. 2 - Il est non biaisé, ou l'absence totale d'erreur d'estimation, c'est à dire avec une espérance mathématique des erreurs d'estimation nulles. 3 - Il prend en compte une condition d'optimalité.

### 2.3 Outils informatique utilisés

On peut simplifier l'utilisation du Système d'Information Géographique (SIG) dans un cadre pratique comme dans notre cas comme étant la superposition de plusieurs cartes en une seule afin de rassembler les différentes informations en un lot. Il est un instrument facilitant toute une gamme d'analyses spatiales faisant intervenir un volume croissant de données. L'étude de l'analyse structurale par la construction du variogramme et sa modélisation ainsi que la régionalisation via une cartographie est assurée par certaines opérations du programme Surfer. Il faut noter en plus que la superposition des cartes ainsi réalisées par Surfer sur les cartes topographiques de la région a été effectuée par le logiciel MapInfo.

### 2.4 Acquisition et structuration des données

Nous disposons pour notre travail de régionalisation par krigeage 73 points recensés par l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques et irrégulièrement repartis sur la superficie de la zone d'Ain Oussera. Vu la difficulté et le coût de la réalisation de toutes les analyses particulièrement physico-chimiques, les données ont été fournis par les archives de la décennie passée de l'Agence Nationale des Ressources Hydrauliques (ANRH) de la wilaya Djelfa. Après l'échantillonnage de ces points d'eaux et l'analyse de ces derniers les résultats sont assemblés dans une feuille de calcul Excel a fin d'obtenir un fichier de données data sous forme de banque de données. La réalisation de cette dernière consiste à créer un fichier de données disposant respectivement de colonnes représentant les coordonnées Lambert X, Y (les valeurs déterminant les limite de la zone étudiée sont comprises entre X : [497 ,562] Km et Y : [206 ,246] Km et les variables étudiées (les valeurs des nitrates). Il faut noter que la création d'une banque de données commence par un travail de recensement des points d'eaux (Forages et puits) puis la localisation de ces points d'eaux sur la carte topographique d'Ain Oussera (l'échelle est de 1/200000).

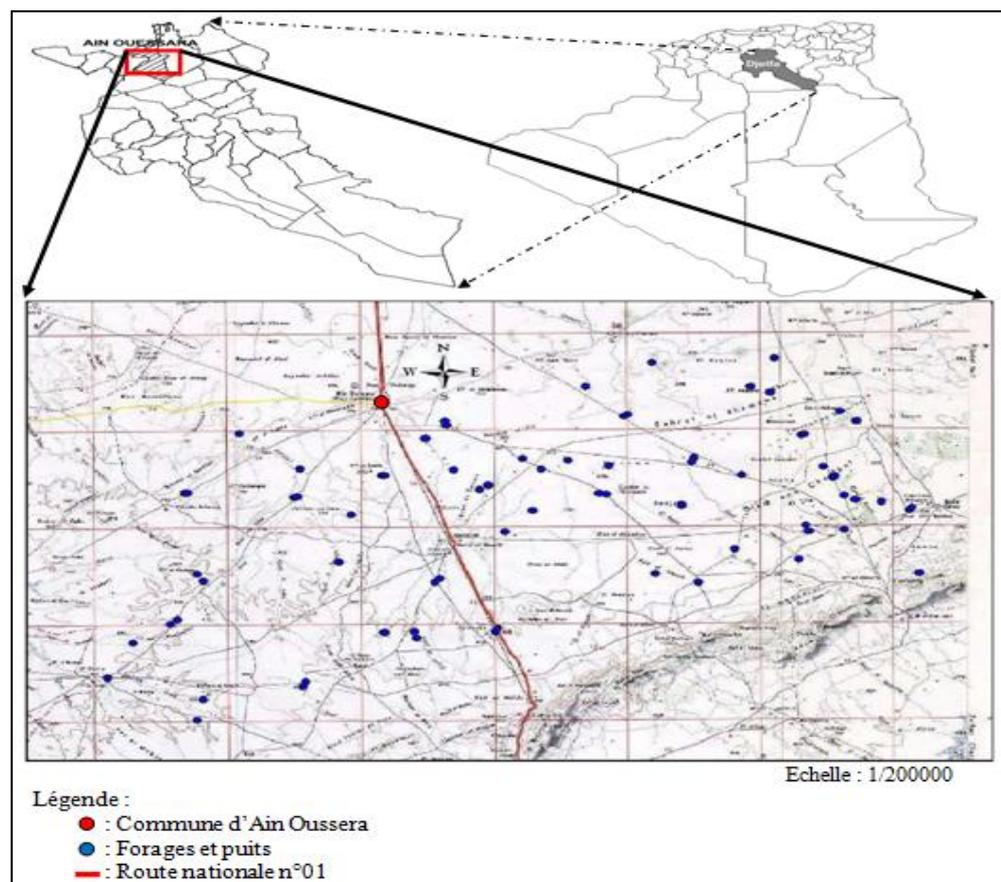


Figure 02: Limite de la zone d'étude

La zone d'Ain Oussera est située au nord de la région de Djelfa, elle s'allonge du Nord au Sud sur environ 73 Km, d'une superficie de 73.038 Ha, soit 23.14% de la superficie totale de la wilaya de Djelfa, elle est limitée au Nord par la région de Médéa, au Sud par la commune de Hassi Bahbah, à l'Est par la commune de Benhar et à l'Ouest par la commune d'El Khemis (Belhouadjeb et Toaiba, 2006).

### 3 RÉSULTATS ET DISCUSSIONS

#### 3.1 Présentation et description statistique des données

Préalablement à toute variabilité ou régionalisation spatiale,

**Tableau 01 : Les paramètres statistiques des valeurs des nitrates**

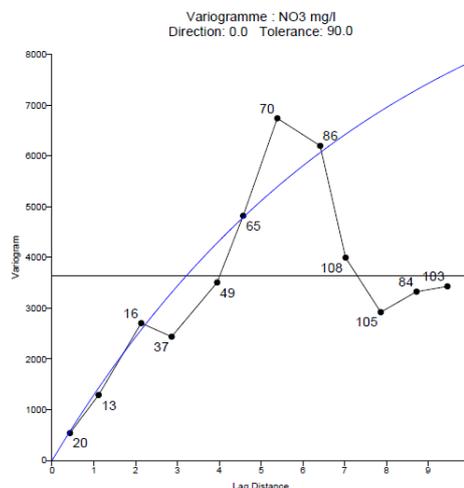
Paramètre chimique	Moyenne	Ecart type	Min	Max	Variance	Médian	Coefficient de Variation	Coefficient de Skewness	Norme de l'OMS
Nitrate (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> mg/l)	59.472	60.637	4.00	255.00	3676.92	34.00	1.01959	1.66661	<50mg/l

De ce tableau on tire la constatation suivante : Les données présentent une hétérogénéité indiquant une dispersion importante ; La norme de qualité de l'eau de consommation selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) est <50mg/l de nitrate, et d'après les résultats on remarque qu'il y a plusieurs forages et puits ont des valeurs des nitrates supérieures à la norme et qui peuvent atteindre jusqu'à 255mg/l.

#### 3.2 Variographie

L'analyse des variogrammes a pour objectif de mettre en évidence les caractéristiques structurales de la variable régionalisée et de proposer un modèle structural théorique qui servira pour le krigeage. La structure spatiale des nitrates est représentée par un variogramme expérimental de type exponentiel avec un palier de variance totale de 11000 et une portée limitée de 8 Km à partir de laquelle les couples de ce paramètre sont spatialement corrélés suivant l'anisotropie de ratio 1 et un angle 0°. Les caractéristiques de cette structure sont : Max lag Distance =10 ; Number of lags=12 ; Lag width = 1.58 ; Vertical scale =8000 ; Number of Rows: 60 ; Number of Columns: 100 ; Total Number of Nodes: 6000.

il est nécessaire de procéder à une analyse statistique élémentaire descriptive de la variable étudiée. Les paramètres statistiques ont pour but de résumer les informations recueillies, on distingue les paramètres de position (moyenne, médiane, ...), et les paramètres de dispersion (la variance, l'écart type). Pour notre étude de la régionalisation des paramètres hydro chimiques afin de mettre le point sur la qualité de l'eau au niveau de la zone d'Ain Oussera on a choisi la grandeur hydro chimique des nitrates, les paramètres statistiques qui décrivent le comportement de cet élément chimique étudié sont donnés sous forme du tableau suivant



**Figure 03 : Variogramme des valeurs des nitrates**

#### 3.3 Cartographie

Le Krigeage produit un maillage régulier des points interpolés où on utilise un Krigeage par points, une fois le variogramme est établi, avec le programme Surfer les données krigées sont stockées dans un fichier avec l'extension « grid ». Il faut noter qu'on avait à notre disposition un ensemble de 73 points d'eau répartis sur toute la zone d'étude.

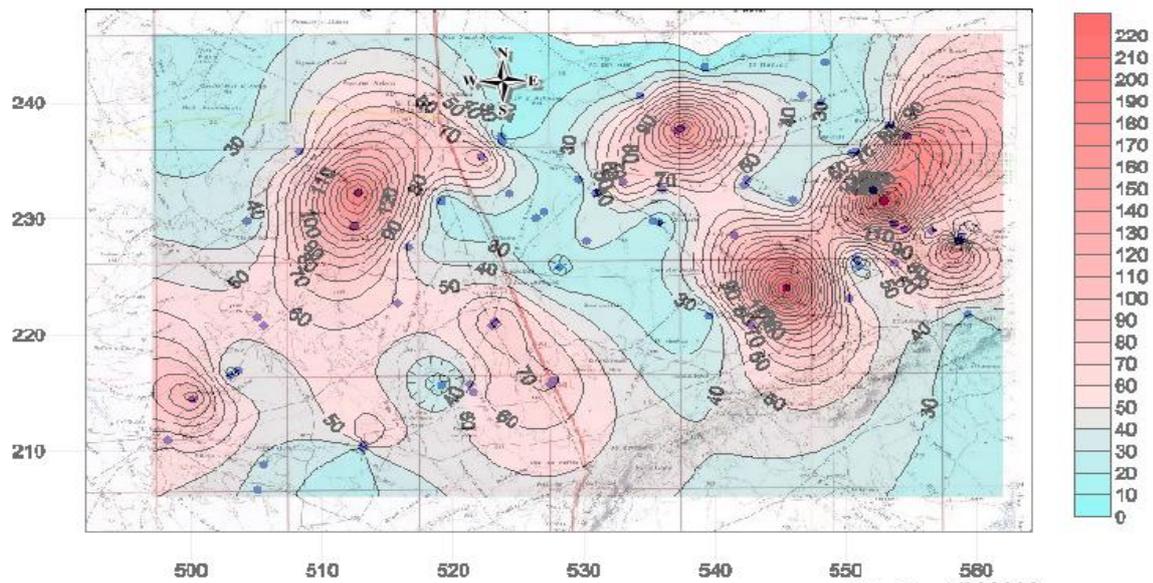


Figure 04 : Carte de la répartition des valeurs de nitrate ( $\text{No}_3\text{-mg/L}$ ) Echelle : 1/200000

On remarque que les valeurs les plus élevées des nitrates se répartissent uniformément dans notre région de la direction du Sud Ouest vers Nord Est en suivant le sens de l'écoulement des eaux superficiels à travers les oueds. Ces grandes valeurs sont probablement dues d'une part aux dépôts des ordures ménagères et les rejets des eaux usées principalement les urées (provenant de l'infiltration des réseaux d'assainissement ainsi que l'élevage des animaux à proximité des ressources d'eau et d'autre part aux l'utilisation des engrais chimique surtout la partie Est). D'après Touati (1987), la région d'Ain Oussera est caractérisée par une dégradation du réseau hydrographique qui est causée par la nature des terrains, en effet, au Sud Ouest d'Ain Oussera, tous les terrains, recouverts ou non par des dépôts continentaux récents perméable et peu épais, appartiennent à la série gréseuse du crétaïc inférieur où les eaux s'infiltrent et ruissellent très peu. Au Sud d'Ain Oussera, le relief étant de moins en moins marqué de l'Ouest vers l'Est, les Oueds sont de la même façon, de moins en moins importants ; A l'Ouest, le bassin de l'Oued Mouilah est bien développé mais cet Oued se perd dans les dépôts continentaux à l'aval de la cluse de la chaîne du Kef -Nasser. L'Oued Cedraïa, traversé par la route de Djelfa a un cours très allongé, il passe à Ain Oussera et se perd à l'aval. Plus à l'Est, tous les Oueds descendant de la chaîne de SBA-Rous se perdent à l'arrivée dans la plaine: les lits sont très peu marqués; la piste de Guelt-Es-Stel à Zemzach les traverse tous; seuls l'Oueds Miritim à l'Oued Fertass montrent des traces de crues. Les seuls risques de crues, dans le secteur d'Ain Oussera viendraient des Oueds Mouilah et cedraïa.

#### 4 CONCLUSION

Notre but n'était pas l'étude de la qualité des eaux de la

zone d'Ain Oussera, plutôt on a mis l'accent sur la mise en œuvre de l'approche stochastique pour régionaliser les paramètres des nitrates qui ont été considérés comme variables obéissant à la théorie des variables régionalisées caractérisées par une structure spatiale ajustée par un variogramme. A cet effet on a intentionnellement présenté d'une manière explicite cette approche en mettant l'accent sur les démarches à suivre depuis la variographie en passant par l'estimation par krigeage jusqu'à l'élaboration des cartes par le programme Surfer. En définitif et après régionalisation, on a remarqué que la zone la plus affectée par une élévation excessive de l'ensemble des valeurs des nitrates que nous avons étudiées se répartissent uniformément dans notre région de la direction du Sud Ouest vers Nord Est en suivant le sens de l'écoulement des eaux superficiels à travers les oueds qui peut être à notre avis à l'origine de ce déséquilibre hydro chimique des eaux souterraines de cette régions. On a voulu montrer une technique qui est considérée actuellement comme outil moderne à base d'informatique, dans notre cas on a vu comment on peut détecter des zones de pollutions ou des zones à risque de pollution à travers une répartition spatiale des valeurs des nitrates après interpolation dans des zones non échantillonnées.

#### REFERENCES

- [1] Azouzi B (1993) Contribution à la cartographie automatique des grandeurs hydrogéologiques, Application à la Mitidja. 163p, Thèse de Magistère, Ed. INA d'El Harrach, Alger.
- [2] Baillargeon S (2005) Le krigeage, revue de la théorie et application à l'interpolation spatiale des données de précipitations. 128p, Thèse pour l'obtention du grade de Maître sciences, Ed. Université Laval, Canada.
- [3] Belhouadjeb F.A and Toaiba A (2006) Initiation à la

- régionalisation stochastique des paramètres hydro chimiques dans le cadre d'un SIG, Application à la région d'Ain Oussera. Thèse d'ingénieur, Ed. Centre universitaire de Djelfa.
- [4] Dagbert M (2000) Géostatistique pour le calcul des réserves et le contrôle des teneurs. Séminaire pour les professionnels de l'industrie. 3p, Ed. Système Geostat International Inc. Canada.
- [5] Gratton Y (2002) Le krigeage, la méthode optimale d'interpolation spatiale. 4p, les articles de l'Institut d'Analyse Géographique, Juin 2002, Canada.
- [6] Matheron G (1963) Traité de géostatistique appliquée, Tome II : Le Krigeage. Mémoires du Bureau de Recherches Géologiques et Minières. 171p, No.24, Ed. B.R.G.M, Paris.
- [7] Missadji C (1989) Variographie des grandeurs Hydro chimique Application à l'aquifère Mitidja. 89p, Thèse d'ingénieur, Ed. INA d'El Harrach, Alger.
- [8] Touati A (1987) Etude hydrogéologique de la nappe d'Ain ouessara. 87p, Thèse d'ingénieur, Ed. INA d'El Harrach, Alger.