

CONTRIBUTION DE LA GEOSTATISTIQUE MULTIPARAMETRIQUE POUR LA CARTOGRAPHIE DE L'APTITUDE DES EAUX SOUTERRAINES A L'IRRIGATION (CAS DU MOYEN CHELIFF OCCIDENTAL)

ABDENNOUR Mohamed Amine¹, BRADAI Abdelhamid², DOUAOUI Abdelkader³

⁽¹⁾Université de Mohamed Khieder Biskra, département d'Agronomie,
Laboratoire DEDSPAZA, Biskra, Algérie

⁽²⁾Université Hassiba Benbouali-Chlef, faculté de SNV,
Département de l'eau, environnement et développement durable, Chlef, Algérie

⁽³⁾Centre universitaire Morsli Abdellah, Tipaza, Algérie

E-mail: ma.abdenmour@univ-biskra.dz/ ma.abdenmour@univ-biskra.dz

(Received 15 September 2017– Accepted 20 March 2018)

Résumé.- Le présent travail traite la qualité physico-chimique des eaux souterraines destinées à l'irrigation et la prédiction de leurs salinités dans la plaine du moyen Chélif occidentale. Sous un climat semi-aride, le recours à l'irrigation est inévitable pour la plupart des cultures. Les eaux souterraines sont donc de plus en plus sollicitées. En plus du problème quantitatif, la qualité des eaux n'est pas toujours conforme aux normes d'irrigation telles qu'elles sont définies par les différentes écoles. L'évaluation de la qualité des eaux a été faite par l'analyse de 63 forages dont le but de chercher leurs aptitudes à l'irrigation. Une étude sur la variation spatiale de la conductivité électrique a été effectuée par l'application de la géostatistique dont on détermine la structure spatiale par l'étude du variogramme, trois classes de salinité ont été trouvés dans cette plaine ; qualité moyenne (C3); qualité mauvaise (C4); et une qualité déconseillée à l'irrigation (C5). Des cartes de salinité des eaux ont été tracées à l'aide du logiciel Arcgis10.2. La cartographie de la salinité des eaux par le krigeage ordinaire a montré que la classe (C3) largement dominante dans la plaine. C'est une classe qualifiée de très haute salinité à utiliser avec beaucoup de précaution car elle a un effet sur le sol et la plante, par contre la cartographie de cette salinité par la géostatistique multiparamétrique a permis de géolocaliser réellement l'emplacement des trois groupes dans la zone d'étude.

Mots-clés: Eaux souterraines, irrigation, géostatistique multiparamétrique, ACP, Moyen Cheliff Occidental.

CONTRIBUTION OF GEOSTATISTICS MULTIPARAMETRIC FOR THE MAPPING OF THE CAPACITY OF GROUNDWATER TO IRRIGATION (CASE OF THE MIDDLE WESTERN CHÉLIFF)

Abstract.- This work deals with the physico-chemical quality of groundwater intended for irrigation and the prediction of their salinity in the mid-western Cheliff plain. Under a semi-arid climate, irrigation is unavoidable for most crops. As a result, groundwater is under increasing pressure. In addition to the quantitative problem, water quality does not always comply with irrigation standards as defined by individual schools. The evaluation of the quality of these waters was carried out by analyzing 63 boreholes, the aim of which was to find out their irrigation skills. A study on the spatial variation of electrical conductivity was carried out by applying geostatistics, the spatial structure of which is determined by studying the variogram, three classes of salinity were found in this plain; (C3) medium quality; (C4) poor quality; and a quality not recommended for irrigation (C5). Water salinity maps were mapped using Arcgis software10.2. The mapping of the salinity of water by ordinary kriging has shown that the class (C3) largely dominant in the plain, It is a class qualified as very high salinity to be used with great care because it has an effect on the soil and the plant, However, the mapping of this salinity by multiparametric geostatistics allowed us to geolocate the location of the three groups in the study area.

Keywords: Goundwater, irrigation, multiparametric statistics, ACP, mid-western Cheliff.

Introduction

L'utilisation intensive des eaux souterraines pour l'irrigation dans la plupart des régions arides et semi-arides a augmenté de façon spectaculaire au cours des 50 dernières années [1]. Ce développement, considéré par certains comme «la révolution silencieuse » [2], a été initié par des modestes agriculteurs en Californie (USA), l'Asie du sud et de la Chine et plus récemment en Afrique du nord [3].

Le contrôle et la gestion des eaux souterraines utilisées en irrigation sont essentiels à travers l'application des méthodes numériques appropriées [4]. Dans de telles études, les méthodes appliquées ont donné lieu à des résultats sous forme de carte numérique pour faciliter leurs interprétations. Ces cartes doivent être effectuées avec des robustes méthodes d'interpolation spatiale pour assurer une cartographie numérique de précision de la qualité des eaux souterraines.

L'irrigation avec des eaux riches en sels peut entraîner la fixation de sodium par le complexe adsorbant du sol, donc un processus de salinisation, avec ses conséquences éventuelles pour les propriétés du sol: tendance à la dispersion des argiles, à la dégradation de la structure, à la perte de perméabilité et à l'asphyxie des plantes. En Algérie 20% des sols irrigués sont concernés par le problème de salinité [5-6]. Depuis quelques années les techniques en informatique et en interpolation spatiale ont bouleversé non seulement les possibilités d'expression cartographique, mais aussi la conception même de la gestion des données. En effet, les Systèmes d'Informations Géographiques (SIG.) menés d'une interpolation spatiale présentent des avantages précieux.

La nappe alluviale du Moyen-Chéouiff se trouve à environ 35 km au Sud de la Méditerranée. Le développement des activités agricoles et la grande extension des périmètres irrigués ont été accompagnés par une grande exploitation des ressources en eaux de la nappe. Par sa position géographique, dans un étage climatique méditerranéen semi-aride voire aride, cette région se caractérise par l'irrégularité des précipitations, de fortes températures et pouvoir évaporant de l'air et par conséquent un bilan hydrique largement déficitaire [7]. Le recours aux eaux de la nappe comme source d'irrigation est survenu suite à la détérioration du réseau de distribution collectif. Le développement des activités agricoles et la grande extension des périmètres irrigués ont été accompagnés par une grande exploitation des ressources en eaux de la nappe [8].

La présente étude recherche, à travers la réalisation d'une base de données relationnelle multi-logicielle, de faire une représentation cartographique de la qualité des eaux souterraines.

1.- Matériel et méthodes

1.1.- Zone d'étude

La plaine du Moyen-Chéouiff occidentale (Algérie) fait partie des plaines du Chéouiff et occupe la partie centrale. Elle s'étend entre la commune d'Oum Drou (11 km à l'est de la ville) et à environ 10 km à l'ouest de la ville de Boukadir. Au nord de cette plaine, l'étendue de la plaine va jusqu'à Ouled Fares dans la vallée de l'affluent dit Oued Ouahrane. La partie sud est limitée par la route nationale n° 4 (RN4) à 4 km environ, qui est également incluse dans la présente étude. La zone ainsi définie occupe un territoire de

321 km² environ dans la vallée du Moyen Cheliff. Comme toutes les plaines du Chélif, le moyen Chélif occidental est à vocation agricole dont l'irrigation est un facteur limitant de la subsistance de l'agriculture.

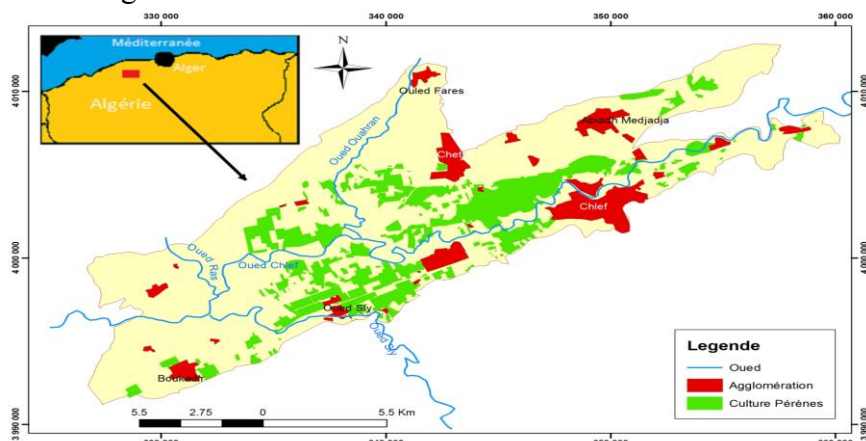


Figure 1.- Localisation de la plaine du Moyen Cheliff Occidentale

1.2.- Echantillonnage et analyse

L'Agence National des Ressources Hydriques (ANRH) pendant l'année 2011, a effectué un échantillonnage sur un totale de 166 forage sur toute la nappe alluviale de la vallée de Chélif dont 63 dans le Moyen Chélif. La projection de ces points sur la carte hydrogéologique montre que la majorité des points sont localisés dans la nappe alluviale (fig. 2).

Les paramètres analysés sont :

- Cations: Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , K^+ ;
- Anions: Cl^- , SO_4^{-2} , HCO_3^- ;
- Conductivité électrique et le pH.

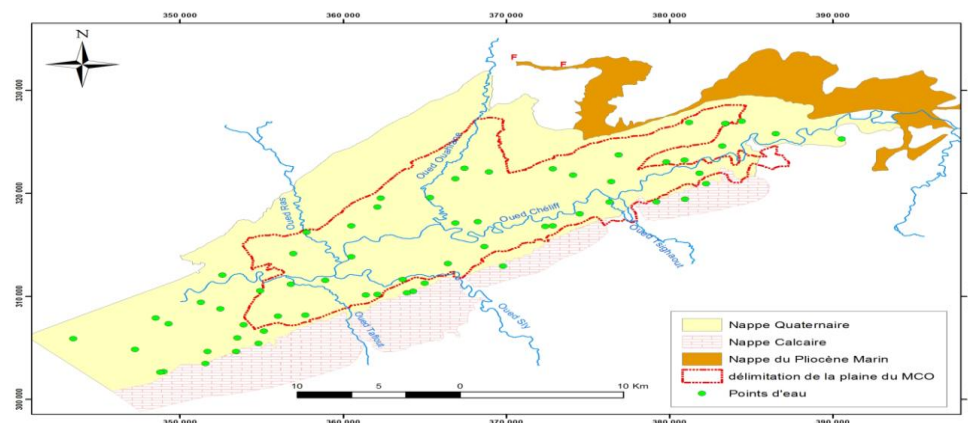


Figure 2.- Localisation des puits d'échantillonnage sur la plaine du Moyen Cheliff Occidentale

1.3.- Analyse statistique

1.3.1.- Analyse monodimensionnelle

Pour répondre à notre objectif et qui est une représentation cartographique de la qualité des eaux souterraines souvent utilisées comme source d'irrigation, il serait

intéressant de faire une description générale de ces eaux dont le but est de ressortir les risques liés à leurs utilisations sur le sol et la plante irrigués.

Pour pouvoir effectuer la caractérisation des eaux souterraines de la zone d'étude, il est fait appel aux statistiques monodimensionnelles et multidimensionnelles ainsi que les diagrammes utilisés pour décrire la qualité des eaux.

1.3.2.- Analyse statistique multidimensionnelle

La qualité d'une eau destinée à l'irrigation ne peut dépendre d'un ou deux éléments seulement. Une bonne évaluation doit être effectuée sur plusieurs paramètres à la fois. C'est pour cette raison qu'il est opté pour une analyse statistique multidimensionnelle où il est choisi l'analyse en composante principale (ACP). L'ACP est utile pour interpréter les données multivariées en les réduisant en structures linéaires fondamentales (axe) [9]. Dans la littérature, on trouve plusieurs études effectuées sur la caractérisation des eaux souterraines en employant une analyse statistique multivariées [10-11].

1.4.- Evaluation de la qualité des eaux

Pour mieux identifier les facies hydro chimiques et avoir une indication sur l'aspect qualitatif des eaux souterraines, la représentation graphique des résultats d'analyse s'avère un outil précieux. Pour atteindre cet objectif on a eu recours au diagramme de Piper et celui de Riverside. La réalisation de ces diagrammes est faite en utilisant le logiciel diagramme le laboratoire d'Hydrogéologie d'Avignon (France) [12].

Le diagramme de Piper a la particularité de représenter plusieurs échantillons sur le même plan. Il est composé de deux triangles, permettant de déterminer les facies cationiques et anioniques. Le facies global est obtenu par l'intersection sur un losange synthétisant le facies chimique d'échantillonnage considéré.

2.- Résultats et discussion

2.1.- Hydrogéochimie

Les analyses physico-chimiques des eaux de la plaine du moyen Chélif relatives à l'année 2011 ont montré une grande variation des concentrations des éléments chimiques (tab. I).

Tableau I.- Paramètres statistiques des eaux souterraines du Moyen-Chélif

Paramètres	Nombre	Minimum	Maximum	Moyenne	Ecart Type	CV (%)	Normes.FAO (bulletin 1976)
Ca ⁺² (mg/l)	63	45	500	206.69	106.55	51.55	400
Mg ⁺² (mg/l)	63	25	415	133.81	85.58	63.95	60.75
Na ⁺ (mg/l)	63	70	590	249.38	131	52.53	920
K ⁺ (mg/l)	63	0	15	1.39	2.13	153.41	2
Cl ⁻ (mg/l)	63	72	1937.15	652.57	388.42	59.52	1065
SO ⁻² (mg/l)	63	10	1400	492.11	386.08	78.45	960
HCO ⁻³ (mg/l)	63	20	712	237.84	121.90	51.25	610
PH	63	6,8	15,50	7,62	1.06	14	
CE (uS/cm)	63	750	8230	3267.6	1681.6	51.46	3000
SAR	63	3	18	6	2.9	46.18	15

Les teneurs en chlorures sont les plus dominantes avec une moyenne de 652.57mg/l, suivi par les sulfates (492.11 mg/l) et le sodium (249.38 mg/l) (tab. I). La valeur moyenne de la CE (3267.6 $\mu\text{S}/\text{cm}$) indique un risque de salinisation très élevé du fait qu'elle est largement supérieure de 2250 $\mu\text{S}/\text{cm}$ [13]. La valeur moyenne du pH (7.62), montre, que l'utilisation de ces eaux pour l'irrigation ne présente pas de danger d'alcalinisation des sols ou de blocage des éléments nutritifs au niveau de ce dernier [14]. Un pH compris entre 8 et 9 est généralement retenue comme limite de dégradation de la structure [15].

Par ailleurs, les valeurs des coefficients de variations sont très élevées. Elles dépassent les 50% pour la plupart des éléments, comme elle peut dépasser la valeur de 100% (153,41% pour le potassium). Ce résultat montre une hétérogénéité spatiale des éléments chimiques.

Le krigeage ordinaire permet l'estimation d'une propriété Z en un point de coordonnées géographiques données selon une combinaison linéaire des observations faites en des points voisins. C'est le type de krigeage le plus utilisé [8]. Ce type de krigeage est utilisé pour réaliser la carte de la salinité des eaux souterraines, que nous avons jugées utile suite à la caractérisation effectuée sur ces eaux.

La base du krigeage est la structure spatiale de la variable qui est bien représenté par le variogramme (fig. 3b). La CE de nos eaux souterraines présente un modèle exponentiel avec une portée de 2500 m, un effet de pépite de 0.75 (dS/m)² et un pallier de 3.25 (dS/m)².

La carte estimée par krigeage ordinaire obtenue est représenté sur la figure (3a). Il se distingue que la classe C4 ($2,25 < \text{CE} < 5$ dS/m) est largement dominante dans la plaine. C'est une classe qualifiée de très haute salinité à utiliser avec beaucoup de précaution car elle a un effet sur le sol et la plante. Au centre de la plaine, se retrouve la classe C5 ($\text{CE} > 5$ dS/m), qui est déconseillée en irrigation. Enfin, la meilleure classe existante est la classe C3 ($0,75 < \text{CE} < 2,25$ dS/m), elle est localisée sur de fine plage au nord de la plaine.

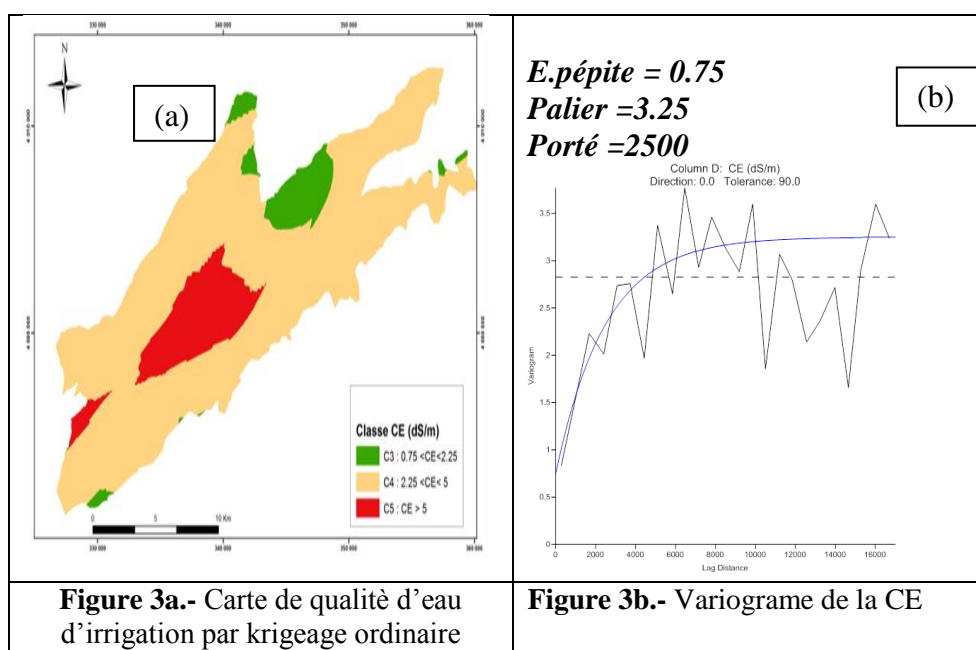


Figure 3a.- Carte de qualité d'eau d'irrigation par krigeage ordinaire

Figure 3b.- Variogramme de la CE

2.2.- Analyse statistique multidimensionnelle

L'analyse en composante principale (ACP) est effectuée en introduisant les données hydrochimiques des 63 forages. Le but d'application de l'analyse en composante principale

(ACP) est pour déterminer les principaux mécanismes de minéralisation à travers les corrélations entre les éléments et les individus. Cette analyse a été réalisée par le logiciel SPSS version 22 [9].

La matrice des corrélations entre les variables renseigne sur les liaisons existantes entre les variables, il en ressort:

- La plus grande corrélation existe entre le Ca^{+2} et Mg^{+2} ($r = 0,827$),
- Des fortes corrélations positives Ca^{+2} , Mg^{+2} , Na^+ , Cl^- , SO_4^{-2} prise deux à deux,
- Le potassium présente une seule corrélation ($r = 0,25$) avec le bicarbonate HCO_3^- .

Tableau II.- Matrice des corrélations entre les variables chimiques des eaux souterraines du moyen-Chéiff

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	CE	pH
Ca	1,00	0,82	0,56	0,05	0,78	0,81	-0,02	0,28	0,89	0,01
Mg	0,82	1,00	0,56	-0,00	0,80	0,82	-0,09	0,23	0,90	0,03
Na	0,56	0,56	1,00	0,14	0,78	0,55	0,38	-0,02	0,80	0,24
K	0,05	-0,00	0,14	1,00	0,15	0,08	0,25	-0,15	0,07	-0,06
Cl	0,78	0,80	0,78	0,01	1,00	0,54	0,02	0,15	0,90	0,04
SO ₄	0,81	0,82	0,55	0,08	0,54	1,00	-0,01	0,14	0,82	0,07
HCO ₃	-0,02	-0,09	0,38	0,25	0,02	-0,01	1,00	-0,24	0,09	0,32
NO ₃	0,28	0,23	-0,02	-0,15	0,15	0,14	-0,24	1,00	0,16	0,18
CE	0,89	0,90	0,80	0,07	0,90	0,82	0,09	0,16	1,00	0,10
pH	0,01	0,03	0,24	-0,06	0,04	0,07	0,32	0,18	0,10	1,00

Une valeur propre représente la variation des individus sur l'axe correspondant. Dans un but de faciliter leurs interprétations, les variables sont exprimées en pourcentage de valeurs propres totales.

Tableau III.- Valeurs propres et pourcentages des axes principaux

Moyen Chéiff Occidental			
Axe	Valeur propre	%	% cumulée
1	4,48	48.88	48.88
2	1,65	16.62	65.40
3	1.22	12.22	77.65
4	0,84	8.48	86.13
5	0,54	5.48	91.61
6	0.44	4.40	96.01
7	0,21	2.19	98.21
8	0,16	1.60	99.81
9	0,01	0.13	99.95
10	0.00	0.05	100

L'ACP montre un premier axe représentant à lui seul 48.88% de la variabilité totale, tout paramètre confondu. C'est un processus important qui devrait être facilement identifié.

Il est suivi ensuite par le seconde, le troisième et le quatrième axe avec respectivement des inerties sensiblement proches de 16.62%, 12.22% et 8.48%. Les autres axes, avec des pourcentages de variance inférieure à 8%, sont négligeables.

La projection des individus (63 forages) sur le plan formé par les deux axes principaux (axe 1 et axe 2), a permis de ressortir trois groupes qui forment la même qualité des eaux souterraines.

Les moyennes des groupes issus de l'analyse en composante principale (ACP) sont présentées dans le tableau suivant.

Tableau IV.- Moyennes des groupes issus de l'ACP

Moyen de groupe	Ca	Mg	Na	K	CL	SO ₄	HCO ₃	NO ₃	CE	SAR
	mg/l								dS/m	
01	336.3	232.15	352.46	1,03	997.16	1035.5	206.69	68,17	5,31	4.15
02	205.3	135.56	251.94	1.41	616	533.34	256	50.52	3,27	3.58
03	112.47	61.78	145.63	1.18	306.26	205.63	233.68	35.75	1,70	2.39

Le groupe 1 formé par 10 individus, il renferme les eaux dominées par sulfate et sodium comme anion et cation dominants. Ces eaux sont très fortement minéralisées ce qui donne une valeur de CE moyenne largement supérieure à la norme d'irrigation posant ainsi un fort risque de salinité. Le pH est dans la norme par contre le SAR est faible car les eaux possèdent de forte valeur en Calcium et de Magnésium.

Les eaux du deuxième groupe (groupe 2) sont dominées par les chlorures d'un point vu anionique et le sodium d'un point vu cationique ; elles sont plus ou moins minéralisées. La CE (3.27 dS/m) dépasse la valeur maximale admissible (3dS/m), ce qui n'exclut pas les eaux de ce groupe d'avoir un danger de salinité sur le sol et les plantes.

Le troisième groupe (groupe 3) présente la meilleure qualité pour l'irrigation, il regroupe les eaux moyennement chargées avec une CE moyenne convenable (1.7 dS/m) dominées par les chlorures et le sodium.

2.3.- Evaluation de la qualité des eaux

Le diagramme de piper est établi pour les eaux souterraines de la plain du moyenne Chélif (fig. 4) montre du point de vu anionique une certaine dominance des chlorures, pour les cations, on distingue qu'il y a un équilibre.

La projection des points d'eau sur le diagramme de Piper nous donne un faciès chloruré et sulfaté calcique et magnésique où le groupe 3 est dominant, le faciès tends vers un faciès hyper chloruré calcique et hyper sulfaté calcique où les groupes 2 et 1 sont bien distingués.

Le diagramme de Riverside est établi en projetant les points d'eau qui composent les trois groupes issus de l'ACP (figure.5) montre que sur trois classes : la classe C3S1 est la meilleure classe existante dans les eaux souterraines dans la plaine du Moyen Chélif Occidentale, elle caractérise les eaux du groupe 3 de L'analyse en composante principale.

Cette classe présente un faible risque de sodicité et un risque modéré de salinité dont son emploi doit être fait avec précaution. Les classes C4S1 et C4S2 sont dominées par le groupe 2. Ces classes indiquent des eaux de qualité moyenne à médiocre à utiliser avec précaution; l'emploi de ces eaux nécessite un drainage avec des doses de lessivage ou un apport de gypse. Les classes C5S2 et C5S3 sont ceux du groupe 1. Ces les plus mauvaises classes avec un risque de salinité (Classe C5) et de sodicité.

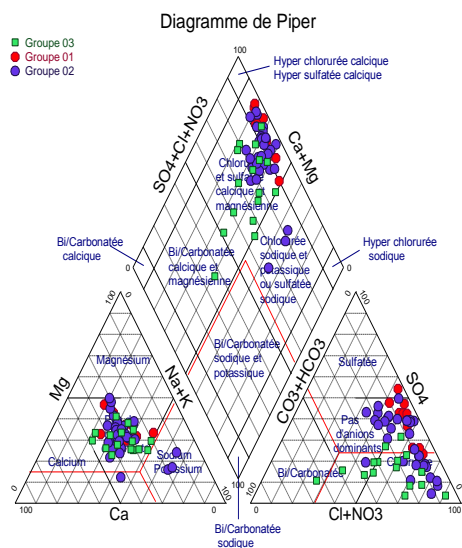


Figure 4.- Projection des points des trois groupes de l'ACP sur le diagramme de Piper

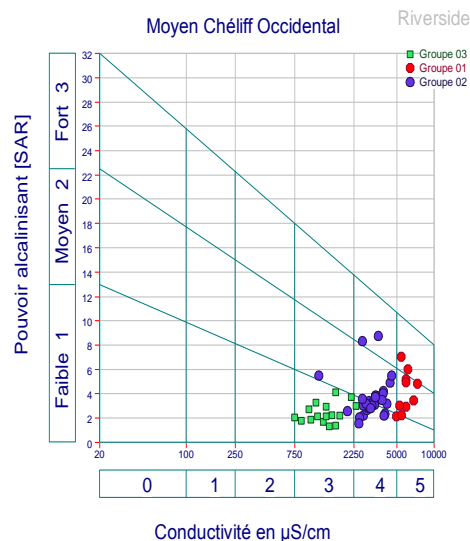


Figure 5.- Projection des points d'eau sur le diagramme de Riverside

2.4.- Géostatistique multiparamétrique

La géostatistique multiparamétrique consiste à cartographier les valeurs des coordonnées des individus sur l'axe d'ACP pris en considération, elle permet de dégager un fond régional des mesures, c'est à dire la tendance en grand de la zone d'étude [16-17]. Les valeurs des coordonnées seront considérées comme étant des variables régionalisées dont on détermine leur structure spatiale par l'étude du variogramme.

La corrélation spatiale est souvent apprécié par le ratio entre l'effet de pépite et le palier; la corrélation spatiale est forte si le ratio est inférieure à 25%, moyenne pour un ratio compris entre 25% - 75%, faible s'il est supérieure à 75% [18]. Dans le cas de la CE, il est de l'ordre de 23.07 %, ce qui lui donne une bonne corrélation spatiale.

L'ajustement a donné un variogramme qui s'ajuste à un modèle exponentiel avec une valeur de l'effet de pépite égale à 0.26, une portée de 2800m, un palier de 1.09 et un ratio de 23, 85%.

La carte multiparamétrique obtenue montre que les eaux du groupe 2, qui présentent une qualité médiocre à mauvaise, marque presque toute la zone centre-ouest de la zone d'étude. Les eaux qui forment le groupe 1 avec une qualité non utilisable en irrigation sont localisées au centre de la plaine. Enfin, le groupe 3 qui a une qualité moyenne est localisé à l'est de la plaine en particulier et une fine plage au sud-ouest de plaine.

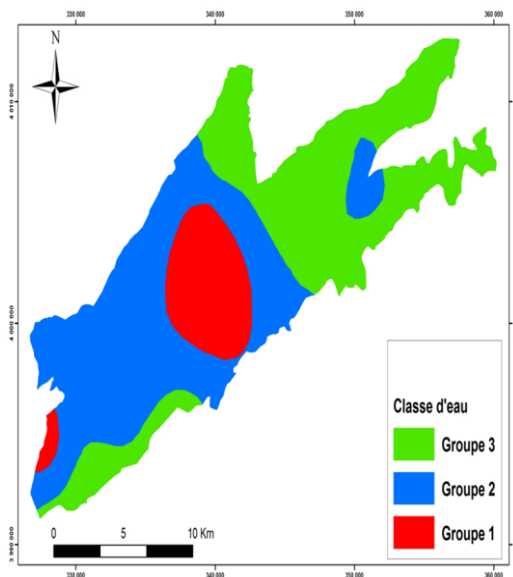


Figure 6a.- Carte de qualité d'eau d'irrigation par krigeage multiparamétrique

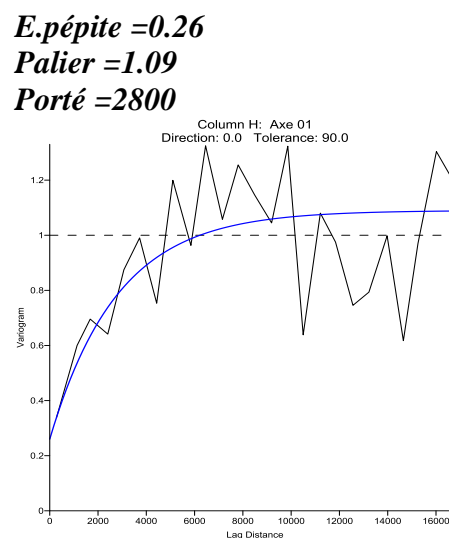


Figure 6b.- Variogramme

Au vu des résultats obtenus, les eaux des trois groupes dans la plaine du Moyen Cheliff Occidentale (MCO) présentent une ressemblance et dissemblance entre les groupes qui peuvent se résumer comme suit:

- Il est clairement ressorti que les variables qui influencent le plus la qualité de l'eau de la nappe sont toutes de nature géologique, à savoir Ca^{+2} , Mg^{+2} , $\text{Na}^{+}\text{Cl}^{-}$ et SO^{-2}_4 . Les variables sont tous corrélées avec l'axe 1 qui présente la minéralisation géologique dans l'application de l'analyse en composante principale (ACP). L'analyse statistique a donné de fortes corrélations entre ces variables prises deux à deux.
- La projection des individus sur le plan principal formé par l'axe 1 et l'axe 2 de l'ACP a donné trois groupes dans la zone d'étude.
- En se référant à la composition chimique des eaux, celle du Moyen Cheliff Occidentale sont divisée en deux catégories : une dominée par le couple sulfate sodium et l'autre par le couple chlorure sodium.
- Concernant la salinité 2/3 des groupes d'eaux sont qualifiées comme inutilisables pour l'irrigation car ils présentent un risque de salinisation.

La cartographie de la qualité des eaux souterraines réalisée dans le cadre de cette étude peut être le moyen le plus propice pour mieux géolocaliser la qualité des eaux.

Les différents types d'interpolations employés peuvent être un outil d'aide à la décision pour le gestionnaire afin d'entreprendre les dispositifs possibles tels que la sensibilisation des agriculteurs ou des plans d'aménagement possibles: installation de réseaux de drainage, choix des cultures suivant la tolérance à la salinité, apport de gypse.

Conclusion

Le travail porte sur l'évolution de la salinité des eaux souterraines dans la plaine du moyen Cheliff occidentale. La salinité d'une eau d'irrigation est souvent le critère le plus apprécié pour évaluer son effet sur les plantes et sur les sols irrigués. La classification des eaux souterraines dans la zone d'étude a montré la présence de trois classes C_3 (risque élevé), classe C_4 (risque très élevé) et la classe C_5 qui est déconseillée pour l'irrigation.

La caractérisation des eaux souterraines effectuée à partir de 63 forages récoltés par l'ANRH en 2011 a montré que la salinité des eaux dépasse la norme prescrite par le bulletin de la FAO 1976 (3dS/m). Par ailleurs, les valeurs excessives des valeurs maximales prouvent que certains points présentent un réel danger dans toute la plaine.

Enfin, l'utilisation illicite des eaux souterraines est à surveiller (fermeture des puits non autorisés). Il faut encourager et subventionner l'introduction de systèmes d'irrigation économique.

Références

- [1].- Bouarfa S. and Kuper M., 2012.- Groundwater in irrigation systems: from menace to mainstay. *Irrigation and drainage*. DOI: 10.1002/ird.1651, Pp 1-13.
- [2].- Shah T., 2009.- *Taming the Anarchy: Groundwater Governance in South Asia*. Resources for the Future Press: Washington, DC. resources for the future; Colombo, Sri Lanka. International Water Management Institute (IWMI), 310p.
- [3].- Amichi H., Bouarfa S., Kuper M., Ducourtieux O., Imache A. Fusiller J. L, Bazin G., Hartani T., Chehat F., 2012.- How does unequal access to groundwater contribute to marginalization of small farmers, the case of public lands in Algeria. *Irrigation and Drainage*, 61 (S1): 34-44.
- [4].- Mendes M.P; and Ribeiro L. 2010.- Nitrat probability mapping in the northern aquifer alluvial system of the river tagus (Portugal) using disjunctive kriging. *Sci. Total Environ*, 408(5): 1021-1034. doi: 10.1016/j.scitotenv.10.069.
- [5].- Douaoui A.; Hartani T.; Lakehal M., 2007.- L'impact de l'irrigation par les eaux souterraines sur la dégradation des sols dans la plaine du bas Chellif. Actes de l'atelier régional SIRMA, Tunisie, 5p.
- [6].- Achite M., Rezak S., Benbouali A., 2003.- Contribution à l'étude de la qualité des eaux d'irrigation en zone semi-aride. Cas des eaux souterraines de la nappe superficielle de la plaine de Ghriss (Wilaya de Mascara). In 54th International Executive Council of ICID, 20th ICID European Conference.
- [7].- Bettahar, N., Ali Benamara A., Kettab A. and Douaoui A., 2009.- Risque de pollution nitraté des zones semi-arides: Cas de la vallée du moyen Cheliff occidental (Nord Algérien). *Rev. Sci. Eau.*, 22:69-78. DOI: 10.7202/019824ar.
- [8].- BRADAI, A., 2006.- Evaluation de la qualité des eaux souterraines de la plaine du moyen Chéiff occidental, application de la géostatistique. Mémoire de magister centre universitaire de khemis miliana, Miliana, Algérie, 122p.
- [9].- Philipeau G., 1992.- Comment interpréter les résultats d'une analyse en composantes principales? Collection STA-ITCF, 63P, Publication, Paris, 63p.
- [10].- Yitbarek A., Razack M., Ayenew T., Zemedagegnehu E., Azagegn T., 2012.- Hydrogeological and hydrochemical framework of Upper Awash River basin,

- Ethiopia: with special emphasis on interbasins groundwater transfer between Blue Nile and Awash Rivers. *J Afr Earth Sc*, 65: 46–60.
- [11].- Touahri F., Meddi M., Mehaiguen M., razack M., 2014.- Hydrogeochemical assessment of the Upper Cheliff groundwater (North West Algeria). *Environ Earth Sci J.*: 3043-3061.DOI 10.1007/s12665-014-3598-6.
- [12].- Smiler R., 2009.- Diagramme. logiciel libre du laboratoire d'Hydrogéologie, université d'Avignon, France.
- [13].- Marlet S., et Job J. O., 2006.- Processus et gestion de la salinité des sols. In : Tiercelin, J.R. traité d'irrigation, seconde édition, Tec-Doc Lavoisier, Pp. 797-822. ISBN-13: 978-2743009106.
- [14].- Richards L. A., 1954.- Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Agricultural Handbook 60, Washington; 160p.
- [15].- Aubert G., 1983.- Observation sur les caractéristiques, la dénomination et la classification des sols salés ou salsodiques. *Cah. ORSTOM, série pédo.*, vol 20, n°1: 73-78.
- [16].- Goulard M., Voltz M. et Monestiez P., 1987.- Comparaison d'approches multi-variables pour l'étude de la variabilité spatiale des sols. *Agronomie* 7 (9): 657-665.
- [17].- Douaoui A., 1993.- Contribution à l'étude des sols des plaines du Chéiff: Variabilité spatiale et quelques propriétés physico-chimiques des sols du moyen Chéiff, indices cartographiques. *Mém. Mag., INA, Alger*, 129p.
- [18].- Bradai A., Douaoui A., Bettahar N., Yahiaoui I., 2016.- Improving the Prediction Accuracy of Groundwater Salinity Mapping Using Indicator Kriging Method. *Journal of Irrigation and Drainage Engi*, 142(7), 04016023.DOI: 10.1061/(ASCE)IR.1943-4774.0001019