

CARTOGRAPHIE DE LA QUALITE DES EAUX SOUTERRAINES EN UTILISANT LES SYSTEMES D'INFORMATION GEOGRAPHIQUE SIG-3D GEOMODELING ET ANALYSE SPATIALE : CAS D'APPLICATION DE LA PLAINE ALLUVIALE DU HAUT CHELIFF, ALGERIE

Gharbi. B ⁽¹⁾

¹Laboratoire de Production agricole et valorisation durable de la ressource naturelle/Université de Khemis Miliana, Algérie.

gharbi.benyoucef1@yahoo.fr

Résumé Les variations spatio-temporelles de la qualité de l'eau souterraine dans la plaine alluviale du Haut Chéiff située à 100 km au sud-ouest d'Alger, ont été étudiées en utilisant une approche cartographique basée sur des outils SIG-3D Geomodeling. Ces outils, par leurs capacités à conjuguer visuellement de grandes quantités d'information, sont utiles pour organiser, analyser, gérer, géovisualiser et également pour cartographier l'information sur la qualité de l'eau souterraine. Pour cette étude, des échantillons d'eau souterraine ont été prélevés dans 30 points de mesure (puits et forages) localisés dans la nappe des alluvions grossières. Les échantillons d'eau ont été analysés pour divers paramètres physico-chimiques. Les cartes de l'évolution spatio-temporelle de la qualité des eaux souterraines ont été préparées en utilisant les techniques hybrides d'interpolation spatiale, Géovisualisation et superposition pour l'ensemble des paramètres physico-chimiques.

Les résultats obtenus dans cette étude et les cartes dressées en terme de qualité hydrogéochimique seront utiles pour surveiller et gérer la pollution des eaux souterraines dans la zone d'étude. Le but à atteindre dans cette recherche était la mise en place d'une cartographie hydrogéochimique et la surveillance attentive des ressources en eaux souterraines qui contribue à suivre l'évolution de la qualité de cette ressource, Ainsi que l'identification des zones potentielles d'exploitation des eaux souterraines. Les secteurs affectés par une forte minéralisation seront particulièrement visés pour une future-intervention en matière de stratégies et méthodes de prévention environnementale vis-à-vis des risques liés aux eaux souterraines.

Mots-clés : SIG 3D, Geomodeling, Hydrogéochimie, Analyse spatiale, Ressource en eau souterraine, Haut Chéiff.

Introduction L'évaluation de la qualité des eaux souterraines d'une région est d'une importance capitale pour planifier le bon développement des eaux souterraines. La demande accrue des eaux souterraines pour la production agricole, l'industrialisation et l'urbanisation, nécessite un suivi régulier de la qualité. Après l'identification des sources de contamination, il est souvent difficile d'adopter une solution de gestion pour surmonter la mauvaise qualité des eaux souterraines. Par conséquent, il est essentiel de surveiller la qualité des eaux souterraines régulièrement pour gérer durablement la ressource en eau souterraine. Plusieurs nouvelles méthodes telles que l'analyse spatiale, la télédétection, Systèmes d'Information Géographique (SIG) et les techniques de modélisation tridimensionnelle sont en évolution afin d'identifier et d'explorer les sources de contamination des eaux souterraines ainsi que de proposer des mesures d'atténuation [3]. La technique SIG-3D s'avère être un outil puissant pour formuler des solutions aux problèmes de gestion des ressources en eau souterraine, telles que la détermination de la qualité de l'eau en ce qui concerne les caractéristiques intrinsèques de la zone d'étude comme la géologie, occupation du sol [2,4], l'identification des zones potentielles d'eau souterraine [5].

Il devient donc impératif de surveiller régulièrement la qualité des eaux souterraines et de trouver les bons moyens pour les protéger. La cartographie spatiale est l'un des outils les plus efficaces pour communiquer des informations sur l'état global de la qualité de l'eau à la communauté des utilisateurs concernés et les décideurs. Ainsi, il devient un paramètre important pour l'évaluation et la gestion des eaux souterraines. Une cartographie de la qualité des eaux souterraine fondée sur des moyens technologiques, tels que SIG-3D, Géomodélisation et techniques modernes de spatialisation, peut servir comme un outil utile pour évaluer la qualité des eaux souterraines [1].

Description de la zone d'étude. La plaine alluviale du Haut Chélif, située à 100 km au sud-ouest d'Alger, appartient au bassin du Cheliff, elle couvre une superficie de 359 Km² et un périmètre de 159 Km et de 270 m d'altitude moyenne (Figure 1). La plaine est une zone à vocation agricole, nécessitant une irrigation par aspersion en raison d'un climat continental semi-aride avec des étés très secs et des épisodes pluvieux d'hiver.

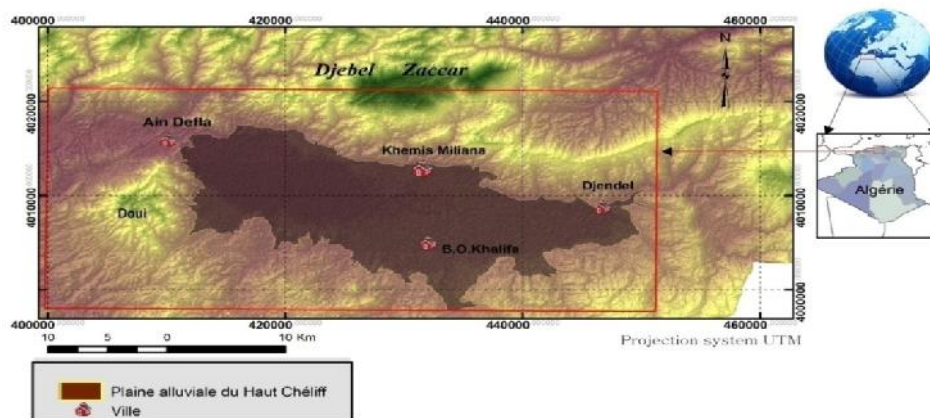


Figure 1. Situation géographique de la plaine alluviale du Haut Cheliff

Les alluvions grossières constituent le principal aquifère de la région, d'une épaisseur qui varie de quelques mètres à plus d'une centaine de mètres. Ils reposent sur des marnes et argiles imperméables qui datent du Pliocène et qui constituent le substratum du réservoir. La profondeur des eaux souterraines dans cet aquifère oscille entre 5 et 50 m. Les axes de drainage principaux, mis en évidence, se font d'Est vers l'Ouest suivant l'axe de Oued Cheliff où convergent tous les écoulements depuis les bordures. Les fortes valeurs du gradient correspondent aux zones centrales de la plaine. Les paramètres hydrodynamiques obtenus sont à caractère très localisé et de ce fait ne peuvent être généralisés à l'ensemble de l'aquifère capté. Les transmissivités sont comprises entre 622 m²/j et 19613 m²/j, les valeurs les plus faibles sont localisées dans la partie sud de la plaine.

Matériels et méthodes

Les échantillons d'eau souterraine sont recueillis à partir des puits et forages qui sont répartis dans le même contexte lithologique. Une vingtaine d'échantillons ont été prélevés et analysés durant la période de septembre 2003 à septembre 2012. Les paramètres qui sont analysés lors de l'analyse de l'eau, sont le pH, T (°C), conductivité ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{-2} , Na^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , et les nitrates NO_3^- . La qualité de l'analyse chimique a été vérifiée en faisant le bilan ionique, en acceptant une erreur inférieure à 5 %.

Le Krigeage a été utilisé pour obtenir la distribution spatiale des paramètres de qualité des eaux souterraines dans la région. Pour chaque paramètre, des modèles semi-variogramme différents ont été testés. Les performances de prévision ont été évaluées par validation croisée. Une carte concernant la qualité des eaux souterraines a été créée suite aux normes et limites

citées dans le Décret exécutif Algérien n° 11-125 relatif à la qualité de l'eau de consommation humaine. La carte de la qualité des eaux souterraines a été dressée grâce à la superposition des cartes thématiques de tous les éléments chimiques analysés, et des requêtes thématiques ont été exécutées en utilisant l'extension Spatial Analyst de ArcGis.

Pour l'étude de l'évolution spatio-temporelle et interannuelle des éléments chimiques, nous avons procédé à la technique de géovisualisation et superposition tridimensionnelle de deux campagnes hydrogéochimiques, La méthode utilisée pour l'obtention des modèles surfaciques en profils 3D est le Gridding. Des Grids-3D ont été créés pour chaque élément chimique pour différentes années à partir de la méthode d'interpolation dite hybride (Figure 2), La méthode de maillage hybride qui fonctionne avec plusieurs algorithmes interpolateurs synchronisés, nous a permis d'utiliser une combinaison de plusieurs méthodes d'interpolation synchronisée et d'appliquer un facteur de pondération de 1 à 5 à chacune.

Résultats et discussion

L'analyse des cartes montrant la répartition spatiale des concentrations en éléments chimiques, indique que l'ordre d'abondance des principaux cations est $Ca^{+2} > Mg^{+2} > Na^{+} > K^{+}$. Les concentrations des principaux cations $Na^{+} + K^{+}$, Ca^{+2} et Mg^{+2} varient de 22 à 432, 60 à 443 et de 51 à 319 mg/l avec une moyenne de 145, 260, et 160 mg/l, respectivement. Tous les échantillons de la zone centrale au Sud ont dépassés la limite permise de Na^{+} et Ca^{+2} de l'eau potable (200 mg / l).

Les concentrations des anions majeurs Cl^{-} , SO_4^{-2} , HCO_3^{-} varient de 150 à 1400, 140 à 662, 187 à 434 mg/l, à une moyenne de 662, 376, 333 mg/l, respectivement. L'ordre de l'abondance de ces anions est $Cl^{-} > SO_4^{-2} > HCO_3^{-}$. La majorité des échantillons ont dépassés la limite permise de Cl^{-} et SO_4^{-2} pour l'eau potable (500 et 400 mg/l), respectivement. La superficie totale de la pollution nitrique qui dépasse les 50 mg/l est d'environ 250 km² soit 69% de la superficie de la zone d'étude. Un foyer de pollution accentuée avec des concentrations dépassant 100 mg/L se situe dans la zone nord-est, il est lié à l'activité agricole et l'utilisation des engrais de type fumier, la migration des nitrates se fait par infiltration des eaux d'irrigation. La répartition spatiale des chlorures montre une augmentation progressive en allant vers le Sud au niveau du Oued Massine et Deurdeur. Cependant, les eaux souterraines douces et faiblement minéralisées ($M < 1,5$ g/l) sont concentrées dans la partie aval à l'Ouest de la zone d'étude et à l'Est de la ville de Djendel en amont, avec une superficie estimée à 105 km².

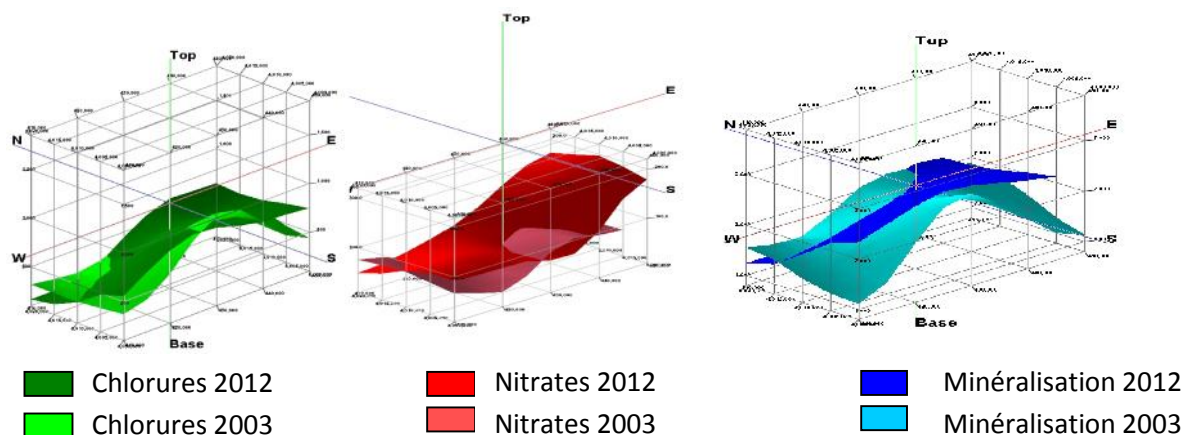


Figure 2. Modeles 3D-Grid pour la Géovisualisation tridimensionnelle de l'évolution spatio-temporelle des concentrations en éléments chimiques.

Les valeurs de la minéralisation qui excèdent 2 g/l se localisent dans le Sud dans les alentours de Oueds Massine et celui du Deurdeur, les eaux de surface qui s'écoulent dans cette zone sont caractérisées par une forte minéralisation qui atteint 3 g/l. La minéralisation augmente en allant vers l'Oued Massine, simultanément, les eaux de l'Oued Massine lessivent les roches gypseuses du Trias qui affleurent au Sud et se chargent en sels dissous, dans son passage elles augmentent la minéralisation des eaux souterraines par infiltration. L'analyse des modèles Grid-3D, nous montre une élévation accentuée de la minéralisation dans la partie sud et centrale avec une variation de 1 et 0.5 g/l, respectivement. Une augmentation progressive des concentrations en Cl^- , SO_4^{2-} , NO_3^- , Ca^{+2} , Mg^{+2} et localement le Na^+ est très nette durant la dernière décennie. La croissance progressive des teneurs en chlorures, sulfates et nitrates atteint des valeurs moyennes de 200, 150 et 40 mg/l, respectivement. L'évolution des teneurs de Ca^{+2} , Mg^{+2} est en moyenne de 200, 150 mg/l, respectivement. Les teneurs en Na^+ ont subi une évolution de 70 et 50 mg/l en moyenne dans la zone Nord-est et sud-ouest, respectivement. L'évolution des teneurs se distribue spatio-temporellement d'une façon approximativement similaire à celle de la minéralisation.

Conclusion

L'objectif principal de cette étude était de cartographier et évaluer la qualité des eaux souterraines dans la plaine du Haut Chélif. La cartographie de la distribution spatiale des paramètres de qualité des eaux souterraines a été réalisée à l'aide des SIG combinés avec les techniques de modélisation 3D. La distribution spatiale des éléments chimiques des eaux souterraines ainsi que leur évolution spatio-temporelle ont été cartographiées. Les eaux de mauvaise et moyenne qualité caractérisent la majorité de la zone étudiée, la qualité de l'eau est en baisse significative due à l'évolution progressive des chlorures, nitrates et sulfates. La qualité des eaux souterraines diminue du Nord vers le Sud de la plaine, la partie ouest de la zone est caractérisée par une bonne qualité. Cette recherche représente une contribution au problème de l'évaluation de la qualité des eaux souterraines, et elle montre la nécessité de continuer la recherche dans cette direction afin d'améliorer et normaliser des nouvelles méthodes pour la conception des cartes thématiques de base en hydrogéochimie en s'appuyant sur des techniques technologiques modernes.

Références bibliographiques

- [1] Abassi, S. (1999). Water Quality Indices: State of the art. J.IPHE, No.1.
- [2] Anbazhagan S., Nair, A.(2004). Geographic Information System and Groundwater Quality Mapping in Panvel Basin, Maharashtra, India. Environ. Geol., 45(6), 753–761.
- [3] Daniela, D., Mariangela, S. (2013). Vulnerability mapping of groundwater contamination based on 3D lithostratigraphical models of porous aquifers Original Research Article Science of The Total Environment., 447, 315-322.
- [4] Malcolm E, Cox., Allan, J., Amy, Hawke., Matthias, Raiber. (2013). Groundwater Visualisation System (GVS): A software framework for integrated display and interrogation of conceptual hydrogeological models, data and time-series animation Original Research Article Journal of Hydrology., 491, 56-72.
- [5] Preeja, K.R., Joseph, S., Thomas, J., Vijith, H.(2011). Identification of Groundwater Potential Zones of a Tropical River Basin (Kerala, India) Using Remote Sensing and GIS Techniques. J. Indian Soc. Remote Sens., 39(1), 83-94.