ETUDE HYDROCHIMIQUE D'UNE NAPPE ALLUVIALE PRÈS D'UN LAC SALÉ (CHOTT EL HODNA, SUD-EST ALGERIEN) EN UTILISANT DES TECHNIQUES STATISTIQUES

Abdelouahab AMROUNE[a], Abderrahmane BOUDOUKHA[b], Manuel LOPEZ-CHICANO[c], José BENAVENTE[c]*

[a] *Département d'hydraulique, Université de Batna 2, 05000 Batna, Algérie.*
Email : amroune.abdelouahab@gmail.com
[b] *Laboratoire de recherche en hydraulique appliquée (LARHYA), Université de Batna 2, 05000 Batna, Algérie.*
[c] *Faculté des sciences, Département de géodynamique, Université de Granada, ESPAGNE.*

Résumé

Les techniques statistiques multivariées, analyse en composantes principales et classification ascendante hiérarchique ont été appliquées aux données sur la qualité des eaux souterraines de l'aquifère du Mio-Plio-Quaternaire. Cet aquifère se trouve dans la partie nord du bassin du Hodna au Sud de M'Sila, au Sud Est algérien. L'objectif de cette étude est de définir les principaux facteurs régissant l'hydrochimie à l'échelle d'une plaine.
L'analyse de groupement a permis de classer 54 échantillons d'eau souterraine en trois groupes. On passe progressivement d'amont en aval (Nord-Sud) d'une eau non salée à une eau fortement salée prés du Chott. L'eau d'infiltration du groupe 1 se mélange avec l'ensemble des réserves de l'aquifère progressivement le long de l'écoulement souterrain pour aboutir à une eau plus chargée du groupe 3 dans la zone de décharge.
L'analyse en composantes principales appliquée à l'ensemble des données aboutit à trois facteurs (coefficient de corrélation, la matrice de corrélation et le critère de Kaiser) qui expliquent à l'aide d'un processus naturel d'interaction eau-roche dans les trois types d'eau.
Les résultats de cette étude démontrent clairement l'utilité de l'analyse statistique multivariée dans l'étude hydrochimique.

Mots-clés: Algérie, Hodna, Hydrogéochimie, Lac salé, Nappe alluviale, Salinisation.

1. INTRODUCTION

La région de M'Sila se trouvant à 250 Km au sud-est d'Alger, la capitale, par son climat aride à semi-aride fait partie d'une région naturelle où les ressources en eau souterraine constituent la principale source d'approvisionnement (Fig. 1). Le suivi de l'état piézométrique entre 2004 et 2008 a montré que la nappe est fortement sollicitée. Le volume total pompé en 2010 pour couvrir les besoins en alimentation en eau potable (AEP) et l'agriculture est de l'ordre de 40 $hm^3.an^{-1}$. Ceci a entraîné une chute continue du plan d'eau dans les ouvrages d'exploitation d'environ 0,5 $m \cdot an^{-1}$ (Amroune 2008).

La présence d'un important lac salé au Sud (Chott El Hodna) pourrait contribuer à la détérioration de la qualité de l'eau et des sols. Cependant, pour mettre en évidence le phénomène et analyser son effet sur la salinisation des sols, une étude était nécessaire.

1.1. Description de la zone d'étude

La région de M'Sila se trouve piégée dans un système hydrographique endoréique appartenant au grand bassin Algérois-Hodna-Soummam.

La région est caractérisée par un climat aride à semi aride, avec des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 215 mm et une température moyenne annuelle de 19°C.

L'évapotranspiration réelle moyenne annuelle est de l'ordre de 197 mm soit 92 % des précipitations. Le déficit agricole annuel est de l'ordre de 728 mm pour la station de M'Sila qui se trouve à l'intérieur du bassin (Amroune 2008).

Actuellement, les principales formations aquifères sont les niveaux appartenant au Mio-Plio-Quaternaire formant le cœur de la plaine de M'Sila. Cet aquifère est captif, constitué essentiellement des sables, graviers, galets et des conglomérats et présent dans l'ensemble de la cuvette (IFES 2006). Ces formations composent deux niveaux aquifères séparées par un niveau à dominance argilo-marneuse. Le substratum de ces formations est formé par des marnes gypseuses du Miocène, avec par endroit des niveaux plus anciens (Crétacé supérieur et Crétacé inférieur) remontés au moyen de failles (Fig. 2). Les marnes et les argiles plongent globalement du nord au sud, en profondeur sous le Chott (Kieken 1970).

Durant les trois campagnes piézométriques qui ont été effectuées durant l'année 2012 (Juin, septembre et décembre), la nappe a gardée la même structure (Amroune 2008). Cet état est caractérisé par la présence d'une dépression piézométrique au centre de la plaine où l'activité agricole est intense (Fig. 1).

Cet aquifère est caractérisé par une transmissivité qui varie entre $8 \cdot 10^{-5}$ et $2 \cdot 10^{-2}$ $m^2 \cdot s^{-1}$. Un coefficient d'emmagasinement qui varie entre 10^{-5} à 10^{-4} caractérise cette nappe captive (Benabderrahmane 1988).

2. MATERIELS ET METHODES

Les paramètres physico-chimiques mesurés sont: le pH, la température de l'eau (T) et la conductivité électrique (CE), mesures effectuées in situ, le résidu sec (RS), Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^{+}, K^{+}, SO_4^{2-}, Cl^{-}, HCO_3^{-}, NO_3^{-}, NO_2^{-}, Pb^{2+}, Zn^{2+} , Cu^{2+}, Fe^{2+}, déterminés au laboratoire.

Deux techniques statistiques multivariées, une classification ascendante hiérarchique (CAH) et une analyse en composantes principales (ACP) ont été appliquées au traitement de ces données chimiques des eaux souterraines de la plaine de M'Sila. Le but de ces traitements est de déterminer les principaux facteurs qui contrôlent le chimisme de ces eaux souterraines.

Les traitements statistiques de cette étude ont été effectués à l'aide du logiciel STATISTICA ® (1998) version free.

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

3.1. Caractéristiques hydrochimiques

Les échantillons d'eau souterraine de la zone d'étude ont des valeurs de pH allant de 7,1 à 8,2, ce qui indique que l'eau souterraine de la région est légèrement alcaline. La conductivité électrique varie entre 1016 et 3600 $\mu S \cdot cm^{-1}$. La dureté est également très forte (> 54°F), ceci est dû à la forte concentration du calcium et du magnésium où 33 à 44% des points d'eaux ont des teneurs supérieures aux normes de potabilité de L'OMS (WHO 2006). Le faciès chimique dominant est le chloruré, sulfaté calcique et magnésien avec 77% des échantillons. Ceci est à mettre en liaison avec les apports souterrains des eaux originaires des formations mésozoïques et cénozoïques du Chott El Hodna (Fig. 3).

3.2. Analyses en Composantes Principales (ACP)

Le premier résultat de l'ACP qui apparaît, est le coefficient de corrélation qui est couramment utilisé pour estimer la relation entre deux variables. Les valeurs de la CE présentent une grande corrélation positive (0,52 à 0,64) avec Ca, Mg, Na, Cl et SO_4. Ceci traduit la participation de ces éléments à l'acquisition de la charge saline des eaux souterraines. Ces corrélations, avec la corrélation inverse SO_4-HCO_3, semble indiquer un processus de dolomitisation. Le chlorure et le sodium possèdent également une très bonne corrélation positive (0,72). Les fortes teneurs de Na^+, Cl^-, Ca^{2+} et SO_4^{2-}, détectés dans certaines échantillons peuvent suggérer la dissolution de sels de chlorure et de sulfates.

3.3. Des analyses de groupement

Cette analyse de groupement montre trois groupes (G1 à G3) des eaux souterraines comme le montre le dendrogramme (Fig. 5). La CE augmente du Nord vers le Sud selon le sens d'écoulement des eaux souterraines (Fig. 6). Le zonage de ces groupes se superpose seulement à la carte de conductivité électrique de l'eau. Le groupe 1 est composé de 4 forages (Fb et Pz 07/01, F5 et F13), et il est caractérisé par une eau faiblement salée dont la CE a une valeur inférieure à 1860 $\mu S \cdot cm^{-1}$. Ce groupe est essentiellement dominé par les bicarbonates et le calcium. Les sulfates sont parfois présents. Ce groupe occupe la partie Nord de la plaine.

Le groupe 2 est représenté par 4 forages (F1, F3, F6 et Pz 02/01). La conductivité électrique moyenne de ce groupe est de 2200 µS·cm-1, avec une dominance du calcium, du magnésium et des sulfates. Ce type d'eau peut être interprété comme la première étape des interactions eau-roche qui se produisent dans les solutions diluées, qui s'explique par les apports d'eaux à partir des formations carbonatées du Secondaire sous jacentes et les formations salées du Chott El Hodna. Ce groupe peut être considéré comme un terme de passage entre le groupe 1 se trouvant en amont et le groupe 3 en aval.

Le groupe 3 comporte le reste des échantillons (plus de 55 %) caractérisé par une CE supérieure à 2250 µS·cm-1. Ce groupe est caractérisé par de fortes teneurs en Na et Cl. La dissolution de l'argile et les marnes gypseuses, et le sel provenant du Chott pourrait être responsable de cette élévation.

3.4. Mécanisme de la salinité

Cette étude a montré que l'analyse quantitative des données hydrochimiques en utilisant des techniques statistiques multivariées classiques peut aider à élucider les facteurs hydrodynamiques et géologiques qui contrôlent la chimie de l'eau. Le système intégré de l'analyse statistique a montré que tous les points d'eau ont un faciès chimique local dû aux interactions eau-roche.

Sur cette base, et au regard de l'analyse multivariée, la zone étudiée peut être divisée en trois zones de composition chimique de plus en plus importante dans le sens de

l'écoulement. Ce modèle chimique de la plaine de M'Sila est caractérisé au Nord par la présence du groupe 1 où domine le faciès bicarbonaté, au Sud par la présence du groupe 3 à forte salinité. Le groupe 2 étant intermédiaire avec des caractéristiques carbonatées et évaporitiques. On peut considérer que les groupes 1 et 2 constituent les eaux de recharge, alors que celles du groupe 3 peuvent être rattachées à la zone de décharge.

REFERENCES

Amroune, A., 2008. *Hydrogéologie et qualité des eaux souterraines de la plaine de M'Sila-Zone nord occidentale du bassin du Hodna-Algérie.* Thèse magistère en hydraulique, Université de Batna (Algérie).

Benabderrahmane, A., 1988. *Simulations numérique de la pollution saline d'un système aquifère dans une région semi-aride à aride –exemple des systèmes aquifères de la plaine de M'Sila-(Hodna, Algérie).* Thèse de Doctorat en géologie appliquée, Université de Franche Comté-(France).

Güler, C. et Thyne, G., 2004. Hydrologic and geologic factors controlling surface and Groundwater chemistry in Indian wells-Owens Valley area, southeastern California, USA. *Journal of Hydrology*, 285, 177–198

IFES (Icosium Forage and Engineering Services), 2006. *Modélisation du système aquifère du Hodna. Rapport de la première phase*. Alger, Algérie: ANRH.

Kieken, M., 1970. *Résumé des connaissances acquises au cours des vingt dernières années dans le Hodna, le Titteri et la partie occidentale des Biban. Bulletin B.R.G.M, séction IV, N°1.*Alger. Algérie.

STATISTICA® 6.0 for Windows, 1998. StatSoft, Inc, Tulsa OK. USDA.

WHO (World Health Organization), 2006. *Guidelines for drinking water quality,* Vol.1, Recommendations, Geneva.