



CARACTERISATION STATISTIQUE ET HYDROCHIMIQUE DE L'AQUIFERE SUPERFICIEL DE TADJANET-CHELGHOU LAID (NORD-EST ALGERIEN).

STATISTICAL AND HYDROCHIMICAL CHARACTERIZATION OF THE SHALLOW AQUIFER OF TADJANET –CHELGHOU LAID (EASTERN ALGERIA)

KHEDIDJA A.¹, BOUDOUKHA A.²

¹ Laboratoire des risques naturels et aménagement du territoire. Université de Batna. PTT
Benyahie Abderrahmane-Mila -Algérie.

² Laboratoire de recherche en hydraulique appliquée, Université Batna 2. Pole Fesdis.05078
Fesdis-Batna. Algérie.

khedi73@yahoo.fr

RESUME

La plaine de Tadjanet-Chelghoum Laid se trouve au Nord Est algérien où les différents besoins en eau sont assurés par les eaux de l'aquifère superficiel du Mio-Plio-Quaternaire. La surexploitation de cette nappe, entraîne une chute de la surface piézométrique et une augmentation de la salinité de l'eau. Une étude hydrochimique à l'aide des rapports caractéristiques et l'outil statistique telle que l'analyse en composantes principales et la classification ascendante hiérarchique, a été réalisée à l'aide de 33 échantillons d'eau. Les analyses chimiques montrent que les eaux de cet aquifère sont de type bicarbonaté calcique sur les limites et sulfaté calcique à chloruré sodique au centre. L'application des différents outils a permis de montrer que l'infiltration des eaux de précipitations sur les limites où les eaux acquièrent leur minéralisation originelle (carbonatée), se minéralisent d'avantage en chlorures, sodium et sulfates au contact des formations terrigènes salifères du Mio-Plio-Quaternaire. La salinisation des eaux semble être principalement due à la dissolution du gypse, de l'halite et de l'epsomite. L'application de la classification ascendante hiérarchique et l'analyse en composantes principales, a montré l'existence de

deux groupes d'eau dont la salinité augmente des limites vers le centre de la plaine avec le sens d'écoulement.

Mots clés : Caractérisation, statistique, hydro chimique, aquifère superficiel, Tadjnanet-Chelghoum Laid.

ABSTRACT

The plain of Tadjnanet Chelghoum Laid with agricultural vocation, is located in North East of Algeria where different water needs are covered by the shallow aquifer waters of the Mio-Pliocene-Quaternary. The overexploitation of the aquifer, resulting in falling average level of the water table and increased salinity of groundwater. Hydrochemical study using a feature reports and statistical tools such as principal component analysis and hierarchical clustering was performed using 33 water samples taken in wells. Chemical analyzes show that the waters are calcium bicarbonate type to the limits and calcium sulfated and sodium chloride at the center. The application of different tools has shown that the infiltration of precipitation water in karst aquifers on the limits where the waters acquire their original mineralization (carbonate) mineralize advantage of chlorides, sodium and sulfates in contact terrigenous salt formations of Mio-Pliocene-Quaternary. Salinization of water appears to be mainly due to the dissolution of gypsum, halite and epsomite. The application of hierarchical clustering and principal component analysis showed the existence of two groups with salinity increases in boundaries to the center of the plain with the flow.

Keywords: Characterization, statistical, hydrochemical, shallow aquifer, Tadjnanet-Chelghoum Laid.

INTRODUCTION

La plaine de Tadjnanet-Chelghoum Laid à vocation agricole, se trouve au Nord Est algérien où les différents besoins en eau sont assurés par les eaux souterraines de l'aquifère superficiel du Mio-Plio-Quaternaire. La sécheresse prononcée qui a sévi ces dernières années a induit une baisse généralisée de la piézométrie entraînant le tarissement de nombreuses sources d'eau. (Khedidja, 2001, 2016 ; Bensouilah, 1995). Cet aquifère se trouvant dans les alluvions, est entouré de reliefs carbonatés du Secondaire. Ces formations carbonatées constituent des limites à potentiel imposé qui contribuent d'une manière

appréciable à l'alimentation de cet aquifère. L'eau de la nappe phréatique est accessible à l'aide de puits de faible profondeur (10 à 15 m). De ce fait, l'exploitation de cette nappe n'a cessé d'augmenter et les prélèvements deviennent supérieurs aux ressources régulatrices (Khedidja, 2016). La surexploitation de cette nappe, entraîne une chute moyenne du niveau de la surface piézométrique de 1 à 2 m/an (Khedidja, 2016). Cette situation géodynamique, rend difficile la compréhension du fonctionnement du système de Tadjnanet-Chelghoum Laid par les moyens hydrodynamiques classiques. Les méthodes géochimiques offrent une alternative intéressante pour préciser le fonctionnement de ce système. Une étude hydrochimique à l'aide d'un outil statistique et des rapports caractéristiques a donc été entreprise dans ce contexte par le Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée et le Laboratoire des risques naturels et aménagement du territoire de l'université de Batna 2 pour contribuer à la compréhension des processus hydrodynamique et hydrochimique des eaux souterraines de la région.

MATERIEL ET METHODES

Contexte naturel

Le bassin de Tadjnanet-Chelghoum Laid d'une superficie de 1000 km², fait partie des hautes plaines de l'Est Algérien. Fig. 1. Il s'agit d'une surface relativement plane à pente très faible dont l'altitude moyenne est de 830 m et entourée par des reliefs culminants à 1170 m. Cette morphologie de cuvette à fond plat, a permis l'installation d'un fort réseau hydrographique exoréique dont le cours d'eau principal est Oued Rhumel alimentant les barrages Grouz à Athmania et Béni Haroun à Mila. Le climat de la région est de type semi-aride caractérisé par des précipitations moyennes annuelles de l'ordre de 372 mm et une température moyenne annuelle est de 15.4 °C. Cette semi aridité favorise une agressivité climatique qui se traduit par une insuffisance en eau due essentiellement à l'irrégularité des précipitations qui expose la région à une augmentation de la température et à une forte évapotranspiration.

Du point de vue géologique, la plaine de Tadjnanet-Chelghoum Laid est formée par des alluvions du Mio-Plio-Quaternaire et des formations carbonatées du Crétacé et du Jurassique (Vila, 1980) qui entourent la cuvette. Il s'agit d'un synclinal comblé par des argiles rouges parfois gypseuses surmontées par des calcaires lacustres, des conglomérats et des alluvions, d'âge Mio-Plio-Quaternaire. Cette formation a 300 à 500 m d'épaisseur (Boudoukha *et al.*,

1997). Le substratum de l'aquifère est constitué par une formation conductrice type argile et marnes, ayant une morphologie irrégulière et d'âge Miocène (Issaadi, 1981).

La structure de cet ensemble sud Sétifien est désordonnée par la mise en place de pointements diapiriques du Trias salifère (Wildi, 1983) occupant des positions anticlinales extrusives en liaison avec les formations sud Sétifiennes ; ce complexe affleure au Nord, au Sud et à l'Est. Le Trias est formé par un amas de gypse broyé à petits cubes calcaro-dolomitiques accompagnés de cargneules, de grès verdâtre à ciment argileux et de roches vertes à tendance ophitique (Vila, 1980).

Les études hydrogéologiques ont permis de montrer l'existence d'un aquifère superficiel dans la région de Tadjanet-Chelghoum Laid se trouvant dans les formations alluvionnaires du Mio-Plio-Quaternaire reposant sur des argiles et des marnes parfois gypseuses. Il s'agit d'un aquifère à nappe libre dont l'épaisseur varie entre une dizaine de mètres sur les limites et une centaine de mètres au centre de la plaine. Ces alluvions ont une perméabilité moyenne de 10^{-4} m/s (Khedidja, 2016). Cet aquifère est caractérisé par un écoulement convergeant vers l'Est, caractérisé par des courbes isopièzes fermées de direction Ouest– Est qui coïncide avec la morphologie du substratum. L'espacement des courbes isopièzes traduit un gradient hydraulique moyen de l'ordre de 3% (Khedidja, 2016). Fig. 1. Cet état piézométrique suggère une alimentation par les calcaires du Secondaire et une décharge vers l'Est. La présence des formations terrigènes salifères pourrait avoir un impact sur la qualité de l'eau.

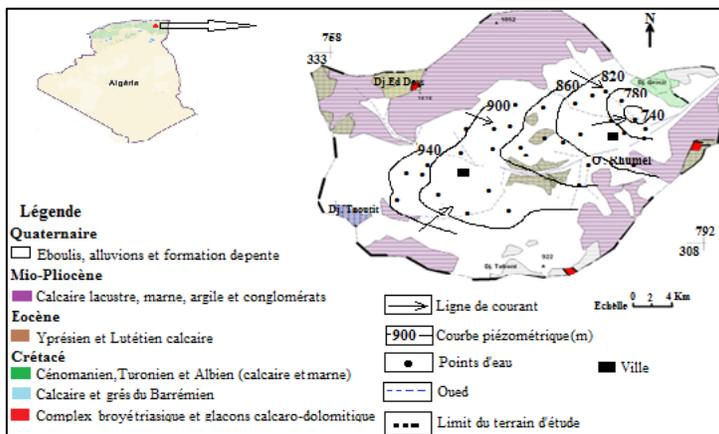


Figure 1 : Carte des conditions naturelles de la région de Tadjanet-Chelghoum Laid.

Stratégie d'échantillonnage

Pour examiner l'évolution des paramètres physico-chimiques, il a été procédé au prélèvement de 33 échantillons d'eau pris au niveau des puits après 15 min de pompage pour éliminer les eaux souterraines stockées dans l'ouvrage. Ces échantillons ont été prélevés durant le mois de mai 2007 à l'aide de 2 flacons en polypropylène lavés à l'acide. Chaque échantillon a été filtré immédiatement sur le site à l'aide de filtres de 0,45 μm d'acétate de cellulose. Le filtrat pour les analyses des cations a été stocké dans des flacons de 250 cm^3 en polyéthylène et immédiatement acidifié à $\text{pH} < 2$ par ajout d'acide nitrique MerckTM ultrapur. Les échantillons dont l'eau est destinée à l'analyse des anions n'ont pas été acidifiés. Tous les échantillons ont été conservés dans une glacière à une température inférieure à 4 °C et transférés au laboratoire et conservés dans un réfrigérateur à une température inférieure à 4°C jusqu'à ce qu'ils soient analysés dans un délai d'une semaine au maximum. Le pH et la conductivité électrique ont été mesurés sur le terrain à l'aide d'un multi-paramètre WTW (P3 MultiLine pH/LFSET). Les éléments chimiques analysés sont : calcium (Ca^{2+}), magnésium (Mg^{2+}), sodium (Na^+), potassium (K^+), chlorure (Cl^-), bicarbonate (HCO_3^-), sulfate (SO_4^{2-}) et nitrate (NO_3^-). Les méthodes utilisées sont celles préconisées par l'American Public Health Association (APHA, 1995).

Méthode d'étude

Les données chimiques ont fait l'objet d'une analyse à l'aide des rapports caractéristiques des masses molaires suivie d'une analyse statistique. Le mécanisme d'acquisition de la salinité a été abordé à l'aide d'une corrélation des différents éléments chimiques qui est couramment utilisé pour estimer la liaison (r) entre deux variables. C'est un outil statistique simple qui permet de montrer le degré de liaison entre deux variables. Une analyse en composantes principales (ACP) a été appliquée au traitement de ces données chimiques. Bien que l'ACP est une méthode exploratoire et descriptive (Dagnélie, 2006) le but de ce traitement est de déterminer les principaux facteurs qui contrôlent le chimisme de ces eaux. Cette méthode statistique a été largement appliquées pour enquêter sur des phénomènes de l'environnement et les processus hydrogéochimiques (Anazawa et al., 2003 ; Güler et Thyne, 2004 ; Belkhiri et al., 2011 ; Tiri et al., 2011 ; Ghodbane et al., 2016). Ce travail porte donc sur la force de cette technique pour caractériser les variations hydrochimiques dans l'aquifère de Tadjanet-Chelghoum Laid. La Classification Ascendante Hiérarchique (CAH) permet de voir si les échantillons peuvent être assemblés

en groupes hydrochimiques statistiquement distincts en liaison avec le contexte géologique. Un certain nombre d’auteurs ont utilisé cette technique pour classer les échantillons d’eau (Alther, 1979 ; Williams, 1982 ; Farnham *et al.*, 2000 ; Meng et Maynard, 2001 ; Bencer *et al.*, 2016) et ont pu être regroupé en fonction de leurs similitudes. Cette analyse a été effectuée sur un tableau de 9 variables (CE, Ca, Mg, Na, K, Cl, SO₄, HCO₃ et NO₃) et de 33 observations.

Tout ce traitement a été effectué à l’aide du logiciel Excel 2010 et STATISTICA ® (1998) version Free.

RESULTATS ET DISCUSSION

Salinité et faciès chimique

L’examen des analyses chimiques (Tableau 1), montre que le pH varie entre 7.2 et 7.8, ce qui indique une faible alcalinité des eaux souterraines. La salinité (CE) augmente de l’Ouest vers l’Est, elle passe de 750 µS/cm sur les limites à 3600 µS/cm au centre de la plaine au niveau de Oued Rhumel où la nappe est proche de la surface ce qui la rende plus sensible au phénomène d’évaporation entraînant une concentration des éléments chimiques. Le rapport (Ca+Mg+HCO₃)/(Na+Cl+SO₄) vs CE permet de montrer que les faibles salinités sont en liaison avec l’effet des carbonates pour 65% des cas alors que les fortes salinités sont en liaison avec les fortes salinités avec 36% des cas. Fig.2.

Tableau 1 : Caractéristiques statistiques des paramètres physico-chimiques des eaux la nappe alluviale de Tadjnanet- Chelghoum Laid. Teneurs exprimées en mg/l à l’exception du pH et CE en µS/cm.

Paramètres	Max	Moy	Min	Ecart type	Cv (%)
pH	8.63	7.62	7.12	0.3	4.5
CE	3611	1465	745	693	47.3
Ca ²⁺	305	148.39	66	68.3	46.1
Mg ²⁺	172	70.67	31	39.4	55.7
Na ⁺	143	76.95	26	28.0	36.4
K ⁺	11	6.71	0.4	2.5	37.3
HCO ₃ ⁻	512	256.43	122	97.1	37.9
SO ₄ ²⁻	1100	272.63	29	298.5	109.5
Cl ⁻	339	191.58	89	79.1	41.3
NO ₃ ⁻	486	102.6	13	81.9	79.9

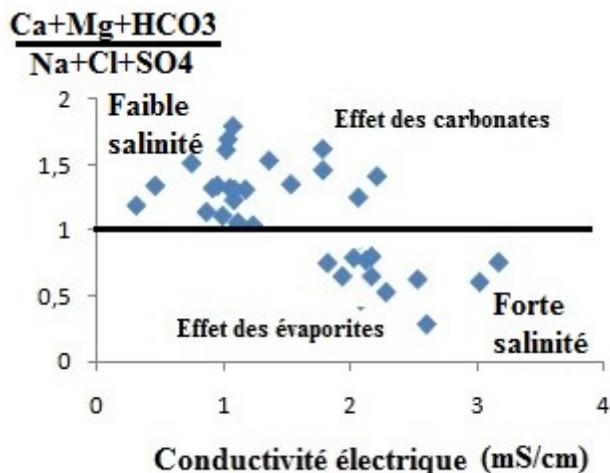


Figure 2 : Effet de la minéralisation sur la salinité des eaux.

Le faciès chimique principal est sulfaté calcique avec 36 %. Accessoirement on a un faciès un chloruré sodique avec 30 % et bicarbonaté calcique avec 24 %. La présence de formations calcaires fissurées et karstifiées sur les limites, suggère une infiltration des eaux de précipitations où elles acquièrent leur minéralisation originelle bicarbonatée calcique ce qui explique la faible salinité des eaux sur ces limites. Ces eaux se minéralisent d'avantage en chlorures, sodium et sulfates au contact des formations terrigènes salifères par dissolution des minéraux salés, par échange de base avec les argiles et par concentration des eaux en éléments chimiques le long de l'écoulement souterrain. Elles acquièrent ainsi leurs minéralisations salifères finales (sulfaté calcique puis chloruré sodique). Cette concentration est également favorisée par la faible vitesse d'écoulement, le gradient hydraulique étant relativement faible. Ceci est en parfaite concordance avec l'écoulement qui se fait de l'Ouest vers l'Est.

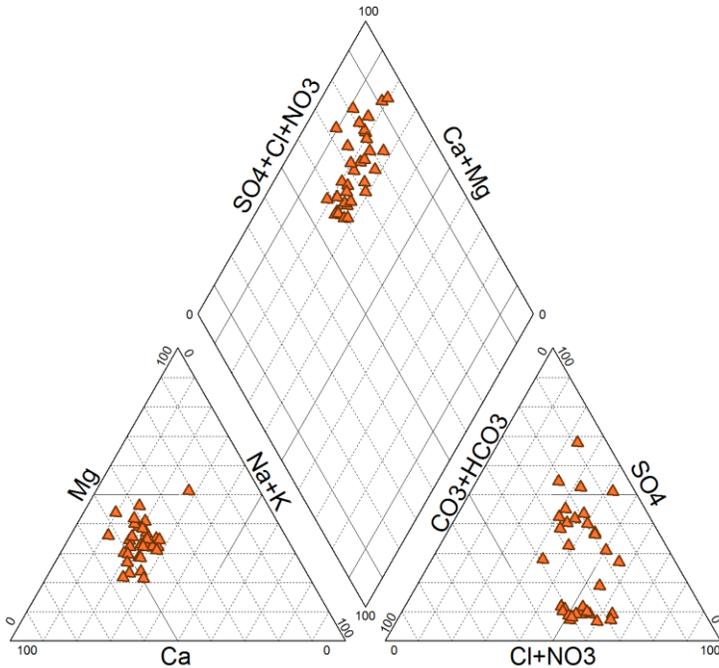
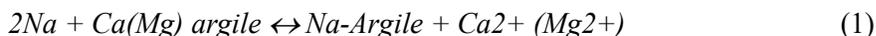


Figure 3 : Diagramme de Piper appliqué aux eaux de l'aquifère de Tadjanet-Chelghoum Laid.

Le rapport molaire Ca^{2+}/Mg^{2+} , renseigne sur l'origine de ces éléments à partir de la dissolution de la calcite et de la dolomite. Si ce rapport $Ca^{2+}/Mg^{2+} \leq 1$, on a une dissolution de la dolomite par contre un rapport plus élevé témoigne de la dissolution de la calcite (Maya et Loucks, 1995), quand il est supérieur à 2, il indique la dissolution des minéraux silicatés (Katz *et al.*, 1998). Les eaux de l'aquifère de Tadjanet Chelghoum Laid sont caractérisées pour la majorité des cas (51%), par des rapports compris entre 1 et 2 traduisant une dissolution de la calcite et secondairement (36%) des minéraux silicatés (terrigenes). Fig. 4. Ceci traduit deux origines possibles du calcium.

L'origine de ces éléments majeurs a été également abordée à l'aide du diagramme $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ vs $SO_4^{2-}+HCO_3^-$. Si les points analytiques s'alignent autour de la droite de pente 1, les réactions dominantes sont dues à la dissolution de la calcite, la dolomite et le gypse. L'échange de base a tendance à déplacer les points vers le bas en raison de l'excès de $Ca^{2+}+Mg^{2+}$ ou vers le haut

en raison de l'excès de $\text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^-$ (Cerling *et al.*, 1989 ; Fisher et Mulican, 1997). Ce processus se fait selon la réaction (1).



Le chimisme de l'eau de la région provient en général de la dissolution de la calcite et accessoirement du gypse des formations terrigènes du Mio-Plio-Quaternaire. Néanmoins, on assiste à une légère tendance vers l'échange de base du à un excès de SO_4^{2-} dans les sédiments terrigènes du Mio-Plio-Quaternaire (Fig. 4).

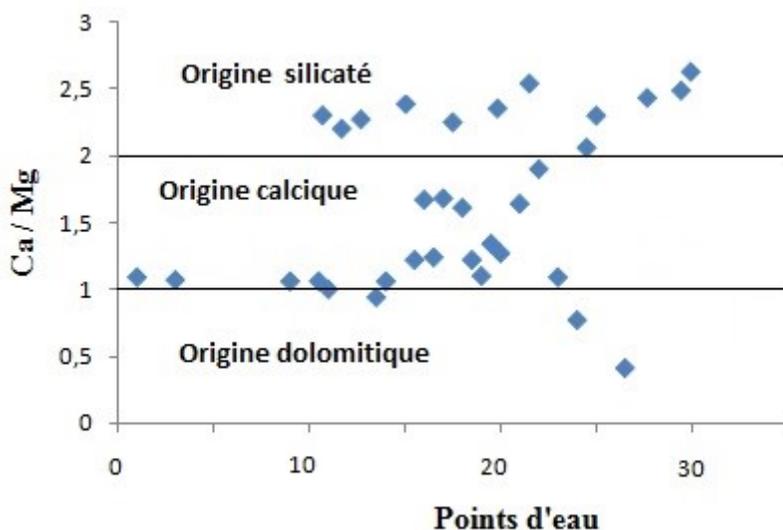


Figure 4 : Origine du calcium dans les eaux de l'aquifère Tadjnanet-Chelghoum Laid.

La présence des sulfates en grandes quantités dans les eaux souterraines (jusqu'à 1100 mg/l) pourrait également être attribuée à la dissolution de l'anhydrite, de la pyrite ou de la marcassite selon la formule proposée par Appelo et Postma (1993) et Droubi *et al.*, (1976) selon la même formule (2).



Les diagrammes Na-Cl et Ca-SO₄ traduisent une dissolution de la halite, de l'anhydrite et/ou du gypse et de l'epsomite selon les formules (3), (4) et (5). Fig. 6 et 7.





Néanmoins l'excès enregistré en Cl et SO₄ peut être dû à l'action anthropique, Oued Rhumel constitue le principal exutoire des eaux résiduaires de la région ce qui permet une contamination de la nappe étant donné que le niveau statique est très proche de la surface du sol (<3 m) Khedidja 2016.

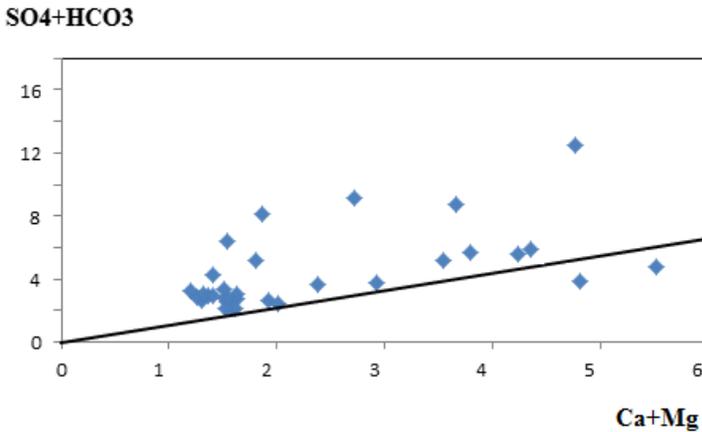


Figure 5 : Liaison SO₄+HCO₃ vs Ca+Mg.

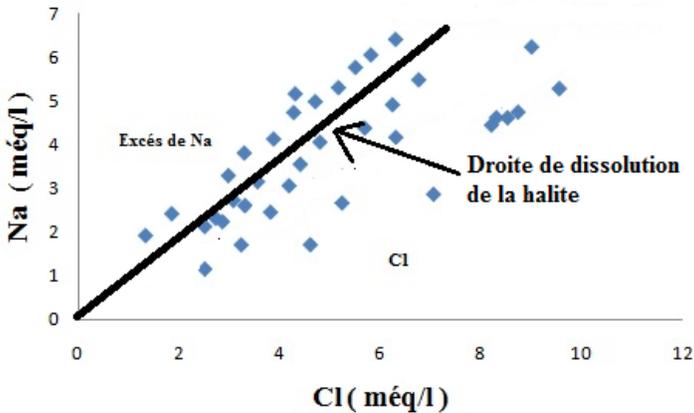


Figure 6 : Relation Na-Cl des eaux souterraines Tadjnanet-Chelghoum Laid.

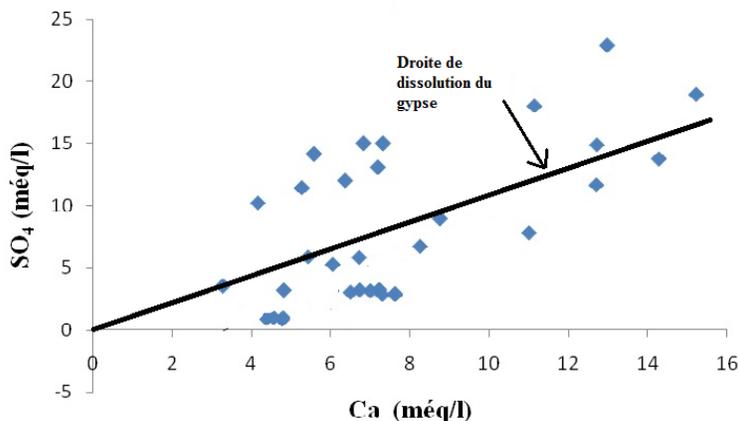


Figure 7 : Relation Ca-SO4 des eaux souterraines Tadjnanet-Chelghoum Laid.

Analyse statistique

Corrélation entre les variables

Pour une meilleure caractérisation des paramètres chimiques et leurs évolutions, on a procédé à une corrélation entre les différentes variables analysées durant la période d'investigation. Les différentes relations entre les paramètres chimiques par l'estimation du coefficient de corrélation peuvent être déterminées sur la base du coefficient critique théorique tiré de la table de Bravais-Pearson en fonction du nombre de couples mis en jeu. Sur cette base le coefficient critique est égal à 0.40 pour un nombre de couples de 33. Tableau.2. Ceci permet de constater que la salinité est liée à la quasi-totalité des éléments. Donc la salinité est due aussi bien aux éléments carbonatés qu'aux éléments évaporitiques. Les éléments carbonatés (Ca, Mg et HCO_3) sont bien corrélés entre eux ce qui témoigne de la dissolution de la calcite (CaCO_3) et de la dolomite ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$). Les éléments évaporitiques sont également bien corrélés entre eux ce qui témoigne de l'influence des minéraux évaporitiques tel que la halite (NaCl), sylvite (KCl), l'anhydrite (CaSO_4) et le gypse ($\text{CaSO}_4, \text{H}_2\text{O}$) dans la composition chimique de ces eaux. Donc l'interaction eau-roche est bien mise en évidence à l'aide de ce coefficient. L'agriculture est également parquée par une bonne corrélation entre NO_3 et K.

Tableau 2 : Matrice de corrélation des paramètres physico-chimiques des eaux souterraines de l'aquifère Tadjnanet-Chelghoum Laid.

	pH	CE	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	NO ₃
pH	1.00									
CE	-0.17	1.00								
Ca	-0.21	0.70	1.00							
Mg	-0.31	0.63	0.86	1.00						
Na	0.00	0.77	0.33	0.40	1.00					
K	0.10	0.64	0.39	0.36	0.84	1.00				
HCO ₃	0.02	0.45	0.49	0.48	0.32	0.36	1.00			
SO ₄	-0.20	0.81	0.82	0.80	0.76	0.59	0.35	1.00		
Cl	-0.07	0.75	0.39	0.83	0.85	0.64	0.38	0.85	1.00	
NO ₃	-0.18	0.38	0.39	0.20	0.37	0.49	0.00	0.37	0.29	1.00

Les corrélations significatives sont indiquées en Gras.

Analyse en composantes principales (ACP)

L'analyse effectuée est une ACP centrée réduite qui a été réalisée sur un tableau de 9 variables (CE, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ et NO₃) et de 33 individus, échantillons d'eau prélevés au niveau de l'aquifère en question. Le critère de Kaiser (1960) a été appliqué afin de déterminer le nombre total de facteurs significatifs. Selon ce critère, seuls les facteurs ayant une valeur propre supérieure ou égale à 1 seront acceptés comme sources possibles de variance dans les données. Deux composantes principales (CP) ont été retenues et les résultats montrent qu'elles représentent 76,914 % de la variance totale, ce qui est assez bon et peut être utilisée pour identifier les principales variations dans l'hydrochimie. Tableau 3. CP1 qui représente 65,263 % de la variance, est déterminé positivement par (CE, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻). C'est donc le facteur de la minéralisation et de la contamination par les éléments évaporitiques et carbonatés. CP2, qui représente 11,651 % de la variance totale est déterminé positivement par K et NO₃⁻. Ce dernier facteur est donc celui de la pollution agricole. Tableau 4. Donc CP1 et CP2 sont supposés être représentatifs du processus d'acquisition du chimisme de l'eau lié à l'interaction eau-roche et à la pollution par l'activité agricole (Khedidja et Boudoukha, 2013).

Tableau 3 : Caractéristiques de l'ACP appliquée aux données physico-chimiques des eaux de l'aquifère de Tadjnanet-Chelghoum Laid.

CP	Valeurs propres	% de la Variance du CP	Variance Cumulée (%)
1	5,874	65,263	65,263
2	1,049	11,651	76,914

Tableau 4 : Corrélations variables – facteurs.

Variable	CP1	CP2
CE	0.865	0.178
Ca	0.891	-0.015
Mg	0.840	-0.220
Na	0.915	0.006
K	0.063	0.789
HCO3	0.611	-0.512
SO4	0.874	0.018
Cl	0.915	-0.089
NO3	0.440	0.833

Classification Ascendante Hiérarchique

Les données hydrochimiques ont été classées par la CAH selon la méthode de Ward (1963) dans un espace à 9 variables (CE, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ et NO₃) et 33 individus. Le résultat d'un tel traitement a montré que les eaux de la région peuvent être classées selon le sens d'écoulement en deux groupes où la conductivité électrique semble être un facteur distinctif majeur. Fig. 8.

- Le groupe 1 formé par les éléments carbonatés (Ca, Mg et HCO₃).
- Le groupe 2 formé par le reste des éléments et qui peut être divisé en deux sous-groupes. Le premier sous-groupe est représenté par les éléments ayant une relation avec l'activité agricole (K, SO₄ et NO₃) alors que le deuxième sous-groupe est constitué par les éléments provenant de la dissolution des minéraux évaporitiques (Na et Cl).

Le groupe 1 est formé par les échantillons ayant une faible minéralisation et qui se trouvent sur les limites en liaison avec les formations carbonatées. Par contre le groupe 2 est formé par les échantillons prélevés au centre de la plaine et caractérisés par une forte minéralisation.

Evolution du chimisme des deux groupes d'eau

La présence d'un réseau intense de fissures au niveau des formations carbonatées des limites, permet une infiltration des eaux de précipitation et l'acquisition d'un faciès carbonaté sur les limites. Le long de l'écoulement souterrain, les phénomènes de dissolution et de précipitation des carbonates, la présence du Trias gypsifère et les formations terrigènes salées, permettent à l'eau d'acquérir un faciès sulfaté calcique puis chloruré sodique. L'abondance des minéraux salifères le long de l'écoulement des eaux souterraines, lui permet d'avoir une salinité plus forte jusqu'à la zone de décharge. Ceci a permis de classer l'eau en deux groupes, de salinité de plus en plus forte selon le sens d'écoulement.

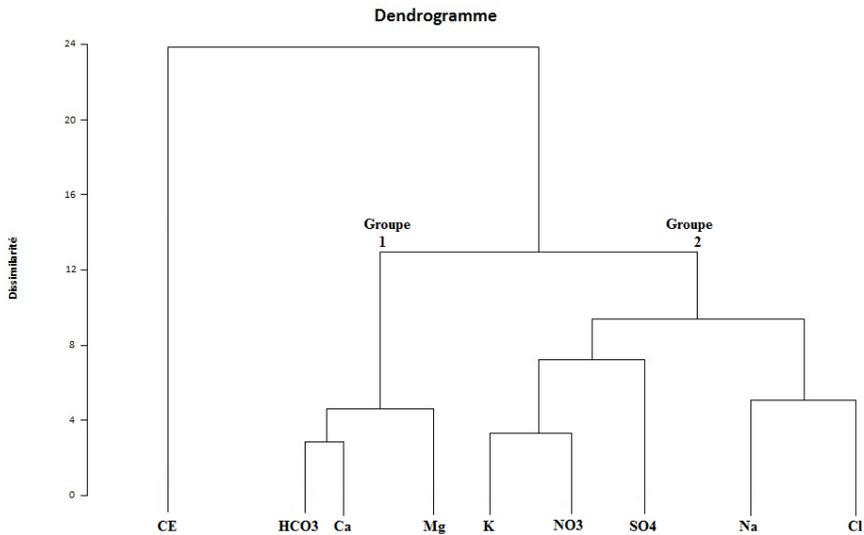


Figure 8 : Analyse par Classification Ascendante Hiérarchique

CONCLUSION

L'application des outils hydrochimique et statistique dans l'étude des eaux souterraines de l'aquifère superficiel de Tadjnanet-Chelghoum Laid, ont permis de préciser son fonctionnement. L'infiltration des eaux de précipitations au niveau des aquifères karstiques sur les limites où les eaux acquièrent leur minéralisation originelle (carbonatée), se minéralisent d'avantage en chlorures, sodium et sulfates au contact des formations terrigènes salifères du Mio-Plio-Quaternaire. Les analyses chimiques montrent que les eaux de cet aquifère sont du type bicarbonaté calcique sur les limites et sulfaté calcique puis chloruré sodique au centre. La salinisation des eaux semble être principalement due à la dissolution, du gypse, de la halite et de l'epsomite. L'application de l'outil statistique, a permis de montrer des liaisons significatives entre la conductivité électrique et les différents éléments chimiques, ce qui a permis de montrer une forte participation des sulfates, chlorures et sodium à l'acquisition de la salinité. L'application de l'analyse en composante principale a montré que deux facteurs expliquent près de 77 % de la variance. Le facteur 1 est celui de la minéralisation alors que le facteur 2 est celui de la pollution agricole. L'application de la classification ascendante hiérarchique a montré l'existence de deux groupes d'eau dont la salinité augmente des limites vers le centre de la plaine avec le sens d'écoulement. Donc les outils l'hydrochimique et statistique ont montré que la salinité des eaux souterraines est contrôlée par les minéraux salifères en liaison avec les formations terrigènes salifères que les minéraux carbonatés.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- ANAZAWA K., OHMORI H., TOMIYASU T., SAKAMOTO H. (2003). Hydrochemistry at a volcanic summit area, Norikura, central Japan. *Geochimica et Cosmochimica Acta.*, 67 (18S): 17.
- APPELO C.A.J. et Postma D. (1993). Geochemistry, groundwater and pollution. *Journal of Hydrology*, 155(1-2), 295-296.
- APHA. (1995). American Public Health Association, AWWA (American Water Works Association), and WPCF (Water Pollution Control Federation). Standard methods for the examination of water and waste water (19th ed.). New York, USA.
- ALTHER G.A. (1979). A simplified statistical sequence applied to routine water quality analysis: a case history. *Ground Water* 17, 556-561.

- BENCER S., BOUDOUKHA A., MOUNI L. (2016). Multivariate statistical analysis of the groundwater of Ain Djacer area (Eastern of Algeria). *Arab J Geosci* (2016) 9:248 DOI 10.1007/s12517-015-2277-6
- BELKHIRI L., BOUDOUKHA A., and MOUNI L. (2011). A multivariate Statistical Analysis of Groundwater Chemistry Data. *Journal Environemental Reserch.* 5(2), 537-544.
- BENSOUILAH .S, (1995). Contribution à l'étude hydrogéologique des hautes plaines sétifiennes dans le cadre de la haute vallée de l'oued Rhumel en amont d'oued Athménia.Th.Magi.Univ.Constantine.184p.
- BOUDOUKHA A., W.M. KOWALSKY W.M. et PHARISAT A. (1997). Evolution des sédiments lacustres Plio-Villafranchiens des dépressions fermées d'El Eulma. Est algérien. *Bulletin de la Société des Sciences Naturelles du Pays Montbéliard*, 187-200.
- CERLING T.E., PEDERSON B.L., DAMM K.L.V. (1989). Sodium–calcium ion exchange in the weathering of shales: implications for global weathering budgets. *Geology* 17, 552–554.
- DAGNELIE P. (2006). -Statistique théorique et appliquée. Tome 2 : Inférences à une et à deux dimensions. Bruxelles-université DE Boeck et Larcier.
- DROUBI A., CHEVERRY C., FRITZ B., TARDY Y. (1976). Géochimie des eaux et des sels dans les sols des polders du lac Tchad: Application d'un modèle thermodynamique de simulation de l'évaporation. *Chemical Geology.* 17, 165-177.
- FARNHAM, I.M., STETZENBACH K.J., SINGH A.K., JOHANNESON K.H. (2000). Deciphering groundwater flow systems in Oasis Valley, Nevada, using trace element chemistry, multivariate statistics, and geographical information system. *Mathematical. Geology.* 32, 943–968.
- FISHER R.S., MULICAN W.F. (1997). Hydrochemical evolution of sodium-sulfate and sodium-chloride groundwater beneath the northern Chihuahuan desert, Trans-Pecos, Texas, USA. *Hydrogeology Journal*, 10(4) 455–474.
- GHODBANE M., BOUDOUKHA A., BENAABIDATE L. (2016). Hydrochemical and statistical characterization of groundwater in the Chemora area, Northeastern Algeria. *Desalination and Water Treatment*, 57(32) 14858-14868.
- GULER C., THYNE G. D. (2004). -Hydrologic and geologic factors controlling surface and Groundwater chemistry in Indian wells-Owens Valley area, southeastern California, USA. *J. Hydrol.*, 285: 177-198.
- ISSAADI. A. (1981). Etude hydrogéologique des massifs du Guerion et Fortars. Thèse,3ème cycle, Univ. Haouari Boumedienne, Alger.
- KAISER H. F. (1960). -The application of electronic computers to factor analysis. *Educ. Psychol.Meas.*, 20: 141-151.

- KATZ B.G., COPLEN T.B., BULLEN T.D., Davis J.H. (1998). Use of chemical and isotopic tracers to characterize the interaction between groundwater and surface water in mantled Karst. *Groundwater*, 35(6) 1014–1028.
- KHEDIDJA A. (2001). Etude de la vulnérabilité de l'aquifère des calcaires lacustres de la région de Bir EL-Arch (W.de Sétif) .thèse de magister. Université de Tébessa.87 p
- KHEDIDJA A. (2016). Caractérisation des paramètres hydrodynamiques de l'aquifère de Tadjnanet –Chelghoum Laid et impact de la pollution des eaux de surface sur les eaux souterraines. Thèse de Doctorat en Sciences. Univ. Batna 2.
- KHEDIDJA A., BOUDOUKHA A. (2013). Risk assessment of agricultural pollution on groundwater quality in the high valley of Tadjenanet – Chelghoum Laid (Eastern Algeria) Publication au Journal International. Science and engineering. Desalination and water treatment /Vol.51, January 2013, pp.292- 301.
- MAYA A.L., LOUCKS M.D. (1995). Solute and isotopic geochemistry and groundwater flow in the Central Wasatch Range. *Journal of Hydrology*, 172, 31–59.
- MENG S.X., MAYNARD J.B. (2001). Use of statistical analysis to formulate conceptual models of geochemical behavior: water chemical data from the Botucatu aquifer in Sao Paulo state. *Br. Journal of Hydrology*. 250, 78–97.
- TIRI A., BELKHIRI L., BOUDOUKHA A., LAHBARI N. (2011). Characterization and evaluation of the factors affecting the geomistry of surface water of Koudiat Medouar basin. Algéria. *African Journal of environmental Science and Technology*. 5(5). 355-362.
- WARD J.H. (1963). Hierarchical grouping to optimize an objective function. *Journal Statistical Association*. 69, 236–244.
- WILDI W. (1983). La chaîne tello-rifaine (Algérie, Maroc, Tunisie) : structure, stratigraphie et évolution du Trias au Miocène, *Revue de géologie dynamique et de géographie physique*. Paris. 24, 201-297.
- WILLIAMS R.E. (1982). Statistical identification of hydraulic connections between the surface of a mountain and internal mineralized sources. *Ground Water* 20, 466–478.
- VILA J.M. (1980). La chaîne alpine de l'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens. Thèse de Doctorat- es -sciences, Université Pierre et Marie curie, Paris VI.