

## QUALITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DANS L'ATLAS SAHARIEN CAS DU BASSIN NÉOGÈNE D'EL-OUTAYA (SUD ALGÉRIEN)

BRINIS Nafaa<sup>1\*</sup>, BOUDOUKHA Abderrahmane<sup>2</sup>

<sup>(1)</sup>Département des sciences de la terre, faculté des sciences

Université Hadj Lakhdar, 05000 Batna, Algérie

<sup>(2)</sup>Institut d'hydraulique du génie-civil et d'architecture

Université Hadj Lakhdar, 05000 Batna, Algérie, E-mail: [nafaa\\_brinis@yahoo.fr](mailto:nafaa_brinis@yahoo.fr)

**Résumé.** - La plaine d'El-Outaya se trouve dans une zone aride dans l'Atlas saharien au Sud algérien. Ses eaux souterraines sont caractérisées par une salinité assez élevée ainsi qu'une grande variabilité dans l'espace aquifère. Cette plaine est le résultat d'un remplissage néogène caractérisé par des formations évaporitiques. Le Trias avec son diapir de sel reste un élément très important dans la région par sa composition lithologique et ses contacts anormaux avec les autres formations. L'évaporation dans la région, est très intense et consomme la majorité des précipitations. L'hétérogénéité de l'aquifère néogène est due à la présence d'argile dans des proportions variables. La combinaison entre les outils, géologique, géophysique, statistique et chimique dans l'étude du chimisme des eaux souterraines permet de déterminer l'origine de la minéralisation et son évolution dans l'espace. Les résultats d'analyses effectuées indiquent la présence en fortes concentrations des éléments tels que  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Na^+$  et  $Mg^{2+}$ .

**Mots clés:** Eaux souterraines, salinité, évaporites, échange de base, El-Outaya.

### UNDERGROUND WATERS QUALITY IN THE SAHARIAN CASE OF NEOGENE OF EL-OUTAYA

**Abstract.** - The plain of El-Outaya is located in arid zone of the Saharan Atlas in southern Algeria. The groundwater are characterized by an important and variability of the salinity. The geology indicates that the plain is constituted by evaporitic rocks. The Dj. El Melah (trias) takes a very important place in the geology of the plain by its lithological composition and its abnormal contacts with the formations around. Evaporation in the area is very important and consumes the majority of the precipitations. The heterogeneity of the aquifer of neogene is caused by the presence of clay in variable proportions. The combination between the tools, geological, hydrodynamic, statistical and chemical in the study of the mineralisation allowed us to determine its origin and its evolution in the space. The analysis of groundwater samples indicates the presence in strong concentrations of  $Cl^-$ ,  $SO_4^{2-}$ ,  $Na^+$  and  $Mg^{2+}$ .

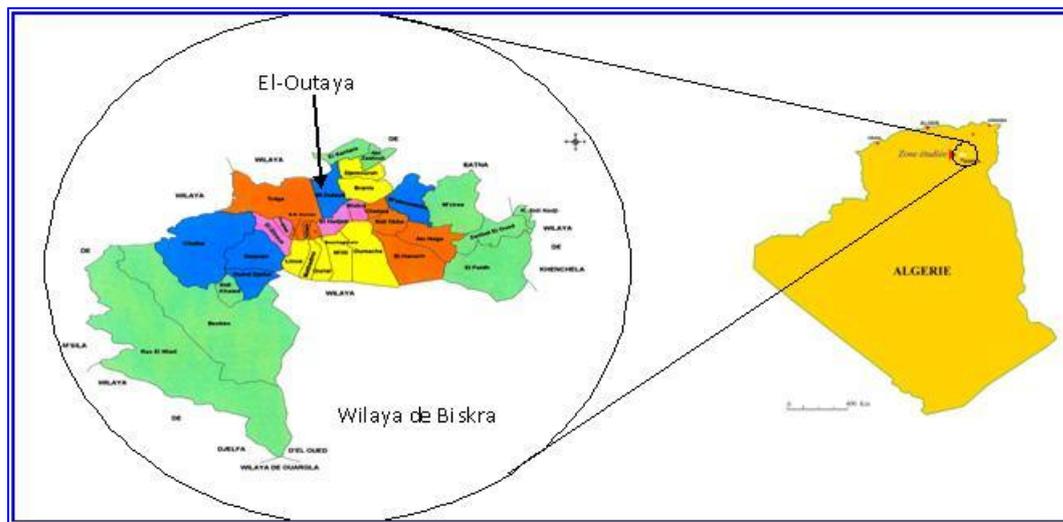
**Key words:** Groundwater, salinity, évaporites, basic exchange, El-Outaya

### Introduction

La plaine d'El-Outaya se trouve au Sud de l'Atlas saharien, dans les territoires de la wilaya de Biskra (fig. 1). Elle est tournée vers l'agriculture et compte plus de 11.000 habitants [1]. Elle a porté jadis plus de 100 fermes romaines dont on voit encore les ruines. Cette région est soumise à un climat aride et l'aquifère Néogène exploité dans cette plaine constitue une ressource importante pour l'irrigation, mais aussi pour l'alimentation en eau potable.

Le programme ambitieux de mise en valeur des terres de la plaine lancé cette dernière décennie vise à valoriser l'agriculture de la région et cherche à rentabiliser ses terres. Ce programme ne peut se concrétiser sur terrain sans une ressource hydrique abondante et de bonne qualité. Concrètement, les besoins en eau d'irrigation proviennent, en partie, du barrage de la Fontaine des gazelles se trouvant à l'amont, Mais l'essentiel provient des eaux souterraines.

Le problème posé par les exploitants dans certaines zones de la plaine n'est pas lié à la disponibilité des eaux souterraines mais plutôt à leurs qualités. L'étude de ces eaux montre en certains endroits montre une minéralisation assez élevée, caractérisée par un faciès gypso-salifère [2,3].



**Figure 1.-** Situation de la plaine d'El-Outaya (DPAT, 2009, modifié) [1]

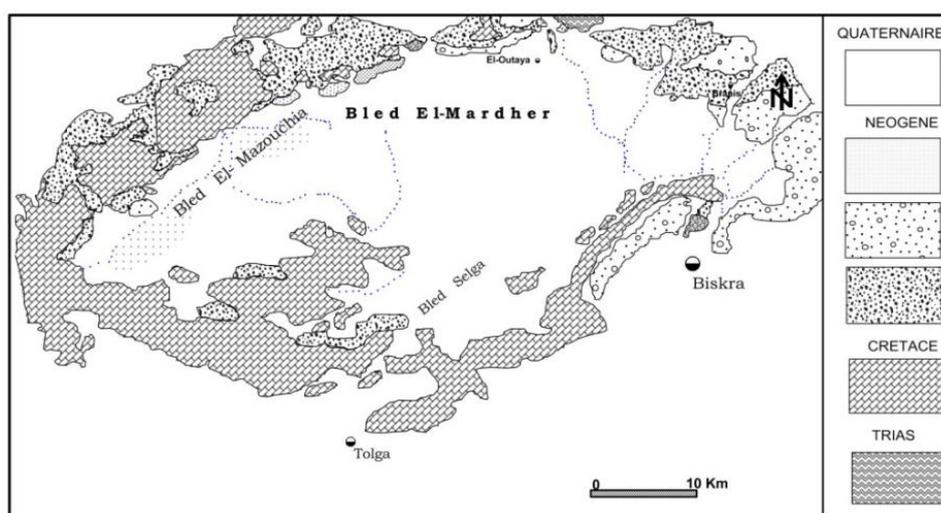
## 1.- Contexte géologique

Le bassin d'El Outaya fait partie de la région de M'Doukal-Biskra qui forme une zone charnière, raccordant les deux grands ensembles atlasiens. Il est particulier par ses dimensions réduites (30 X 70 km), sa forme losangique limitée par des failles (E-W, NW-SE et NE-SW), ainsi que par sa position dans le domaine atlasique. C'est un bassin subsident orientée sensiblement E.NE-W.SW, et situé entre deux anticlinaux. Il se trouve au nord de l'anticlinal du Djebel Bourhezal (Biskra) et au Sud du dôme de Djebel El Melah (El-Outaya) (fig. 2). Il a fonctionné comme un bassin de sédimentation pendant tout le Néogène. Il est constitué à la base par un Miocène laguno-marin, recouvert par un Messinien gréseux fluvial, puis par des poudingues pliocènes. Les termes supérieurs, plus particulièrement pliocènes, sont fortement inclinés vers le centre du bassin où ils disparaissent sous une épaisseur considérable du Quaternaire [4,5,6,7].

## 2.- Contexte hydrogéologique

L'aquifère Néogène a été décrit selon les études géologiques comme un réservoir multicouches à cause des nombreuses passées argileuses ou grésifiées. C'est un aquifère complexe par sa composition lithologique hétérogène, et sa structure tectonique. La combinaison des outils, géologique, géophysique et les sondages mécaniques permet l'identification de trois niveaux perméables:

- Un niveau constituant un aquifère libre dans les terrasses en relation directe avec l'oued et d'une épaisseur d'une dizaine de mètres;
- Un niveau constitué de conglomérats pliocènes se trouvant à l'est de la plaine et d'une puissance de 200 m, avec des résistivités élevées, son épaisseur et sa résistivité diminue en direction du centre;
- Un niveau d'âge Miocène composé de plusieurs passages perméables, séparés par des argiles contenant du gypse. Il est caractérisé par une forte épaisseur au centre de la plaine, il est très hétérogène et sa structure est affectée par la tectonique.



**Figure 2.-** Carte géologique de la plaine d'El-Outaya [6]

Concernant les directions privilégiées des écoulements souterrains, l'établissement de la carte piézométrique [8] a mis en évidence deux axes principaux:

- Un écoulement de l'Est vers l'Ouest dans la partie est de la plaine qui se fait à partir des conglomérats pliocènes;
- Un écoulement du Nord et du Nord Est vers le Sud et le Sud Ouest.

### 3.- Matériels et méthodes

Les résultats de 34 analyses chimiques effectués à l'agence nationale des ressources hydriques ont servi à l'établissement des diagrammes couplant le log du facteur de concentration et les logs des molalités des éléments majeurs. L'utilisation du facteur de concentration (Fc), permet de suivre l'évolution de la concentration des éléments chimiques dans les eaux, et notamment ceux qui apparaissent comme faciès dominants. Ce facteur (Fc) est estimé à partir du rapport entre la teneur en chlorures d'une eau et la plus petite teneur en chlorures observée dans l'ensemble des échantillons.

Il est procédé à un classement des 34 analyses selon leurs teneurs en ions chlorures, et suivre l'évolution de la molalité (meq/l) de chaque élément majeur ( $\text{Cl}^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ) depuis les échantillons d'eau les plus dilués, aux échantillons les plus concentrés, en fonction de la molalité croissante de  $\text{Cl}^-$  (le nuage de points représentant les données de terrain ne s'oriente jamais suivant une pente supérieure à l'unité cela indique que la détermination du facteur de concentration des solutions à partir de leur molalité en ions chlorures est acceptable) [9].

Une eau de composition chimique donnée se concentre par évaporation. Si aucune précipitation ou dissolution n'intervient au cours de cet événement, la molalité totale de chacun des éléments en solution augmente proportionnellement au facteur de concentration. L'augmentation des concentrations des espèces aqueuses n'est pas proportionnelle au facteur de concentration. Certains peuvent augmenter fortement ou faiblement, d'autres peuvent même diminuer lorsque la concentration totale augmente [10].

Concernant l'étude de l'origine de cette minéralisation, 21 prélèvements sont sélectionnés pour le dosage du strontium ( $\text{Sr}^{+2}$ ). Cet élément trace est lié aux évaporites. Il forme ainsi un bon marqueur de leur présence [11].

Le strontium permet de distinguer les sulfates provenant de l'oxydation des sulfures (teneurs faibles) de ceux issus de la dissolution des évaporites (teneurs élevées) [12]. Le rapport ionique (en concentration molaire)  $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$  est caractéristique d'une origine évaporitique s'il est égal ou supérieur à 1‰ [13]. Il est supérieur à 5‰ dans les évaporites du Trias alpin [14].

#### 4.- Résultats et discussion

Les résultats des paramètres physiques (conductivité, pH), éléments chimiques majeurs (Ca, Mg, Na, K,  $\text{HCO}_3$ , Cl,  $\text{SO}_4$ ,  $\text{NO}_3$ ) ainsi que l'élément trace strontium (Sr) permettent de définir le contexte géochimique de ces eaux, avec mise en évidence de leurs caractéristiques fondamentales (tab. I).

**Tableau I.-** Caractéristiques physico-chimiques des solutions analysées

Variable	Ca (mg/l)	Mg (mg/l)	Na (mg/l)	K (mg/l)	$\text{HCO}_3$ (mg/l)	$\text{SO}_4$ (mg/l)	Cl (mg/l)	$\text{NO}_3$ (mg/l)	TDS (mg/l)	Con ( $\mu\text{S.c m}^{-1}$ )	pH	Sr (mg/l)	Sr/Ca (meq/l)
Min.	96	77	92	2	98	420	219	0	1080	1110	7.4	1.79	5.91
Max.	348	250	997	6	314	1672	1328	30	4980	5940	8.82	6.49	9.27
Moy.	200.6	183.8	440	3.73	149.5	959.41	725.67	10	2999.41	3475	7.84	17	18.7
Ecart-type	66.76	55.86	254.1	1.31	45.41	371.11	353.82	5.78	1198.43	1423	0.28	3.88	3.27
% E. type	33.28	30.39	<b>57.75</b>	35.12	30.37	38.68	48.76	57.8	39.96	40.95	3.57	22.82	17.49

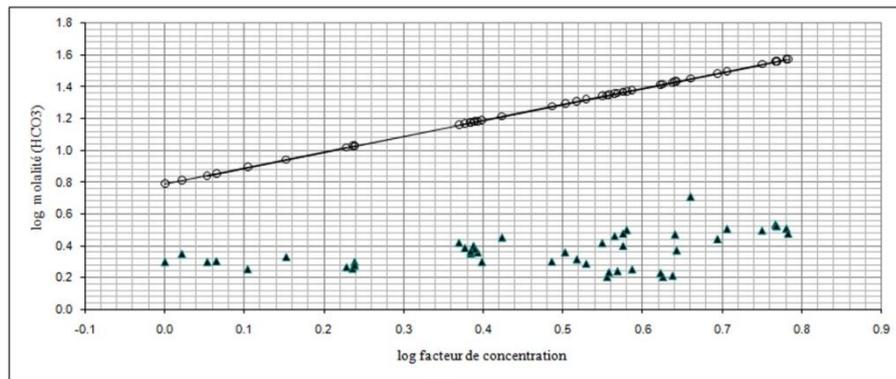
Il est perceptible, par ailleurs que l'écart par rapport à la moyenne est considérable pour certains éléments, tels que le sodium, les chlorures et les nitrates. Il avoisine 50% de la valeur de la moyenne. Ces anomalies peuvent être expliquées par l'écart important qui existe entre les valeurs minimales (supposées normales) et les valeurs maximales (anomalies). Pour les nitrates, cette variabilité est due probablement à une utilisation spatiale sélective des engrais. Alors que pour le sodium et les chlorures, qui proviennent de la dissolution de l'halite, il semble que les concentrations élevées sont limitées dans l'espace et ne concernent pas toute la plaine. En effet, elles sont en liaison avec les affleurements du Trias salifère. La déviation du reste des paramètres par rapport à la valeur moyenne est de l'ordre de 30%.

Les résultats d'analyses montrent une influence très marquée des évaporites par la présence en grandes teneurs du strontium dans les eaux de la région. Le rapport  $\text{Sr}^{2+}/\text{Ca}^{2+}$  dépasse dans tous les cas 5‰. Les eaux analysées sont groupées dans trois grandes

familles: sulfatée magnésienne, sulfatée sodique et chlorurée sodique.

Les figures 3-7 montrent que tous les éléments n'évoluent pas proportionnellement au facteur de concentration.

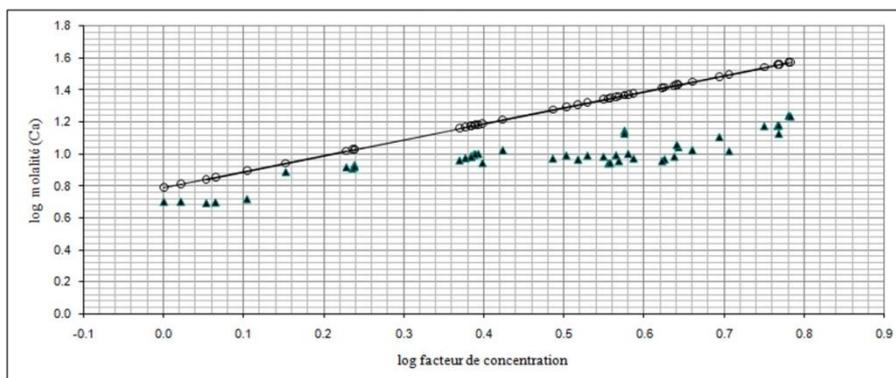
La concentration de l'alcalinité carbonatée dans les eaux de la région peut provenir de la dissolution des calcaires ou des dolomies présents tous les deux dans les zones d'alimentation de la nappe. Le faciès carbonaté n'est pas dominant dans les eaux prélevées. La figure 3 montre que la molalité de l'alcalinité carbonatée n'évolue pas avec la concentration globale, et semble être prélevée de la solution pour participer à des précipitations dès le départ; l'indice de saturation de la calcite étant dans la solution entre l'équilibre et +1.15, l'aragonite entre -0.4 et +1, et la dolomite entre +1.16 et +2.78 [2].



**Figure 3.-** Diagramme de concentration de l'alcalinité carbonatée

La figure 4 montre que le calcium est moins important que les chlorures mais il suit une certaine évolution avec le facteur de concentration. Il est remarqué cependant une légère diminution qui se fait sentir, puis une reprise de l'évolution (participation à des précipitations puis un apport de cet élément qui fait augmenter sa concentration).

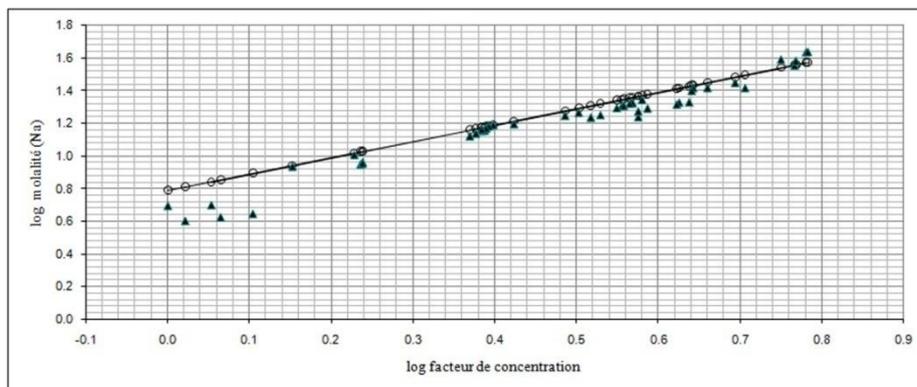
L'importance de l'ion calcium par rapport aux bicarbonates indique un excès de ce dernier dans les eaux de la région, dû probablement à une autre origine que les carbonates (le gypse par exemple).



**Figure 4.-** Diagramme de concentration du calcium

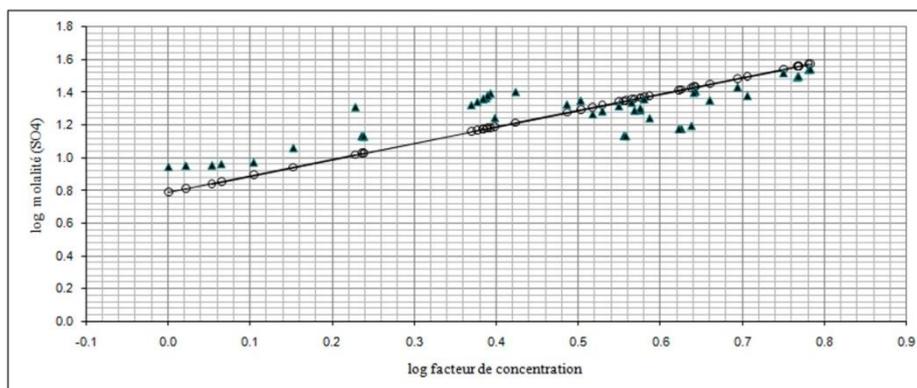
La figure 5 indique une parfaite évolution du sodium avec le facteur de concentration à part quelques échantillons au début de la concentration. Cela indique une

dissolution simultanée des chlorures et du sodium issus de la même origine. Il s'agit de la halite (le diapir de sel au nord de la région). Cette parfaite évolution laisse à supposer qu'il n'y a pas départ de ces ions des eaux vers une éventuelle phase solide; indice de saturation de la halite entre -6.3 et -4.59 donc largement sous-saturé [2].

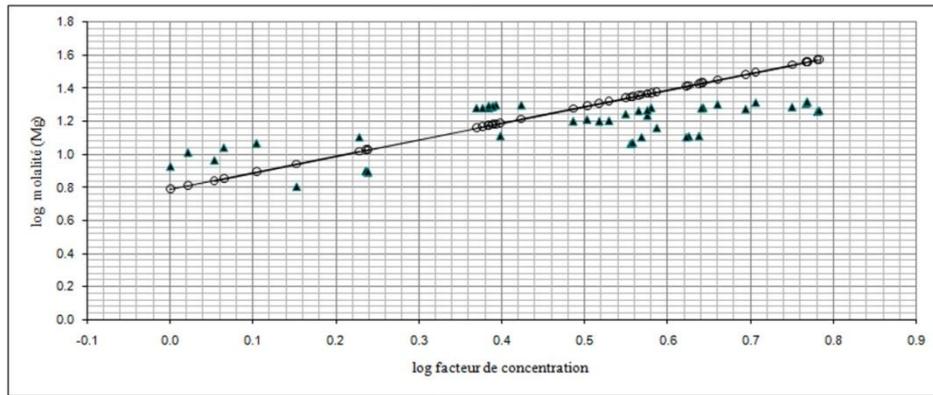


**Figure 5-** Diagramme de concentration du sodium

Les figures 6 et 7 montrent pratiquement le même comportement des molalités des sulfates et du magnésium par rapport à la concentration totale. La concentration de ces éléments est supérieure au facteur de concentration jusqu'à la valeur de 4.5 du log de ce dernier où les molalités des sulfates et du magnésium diminuent lorsque la concentration totale augmente (diminution plus importante du côté du magnésium). On peut déduire tout d'abord que ces deux éléments évoluent ensemble, sachant que les eaux sulfatées magnésiennes sont très présentes parmi les eaux de la région. Cette diminution peut s'expliquer par la participation du magnésium et des sulfates à des précipitations (dolomite et d'un degré moindre l'anhydrite et le gypse), indice de saturation de la dolomite entre 0.1 et 1.8. Une deuxième hypothèse quant à la diminution du magnésium est l'échange de base qui peut s'effectuer entre le sodium et le magnésium, et fait diminuer ce dernier en faveur du premier.

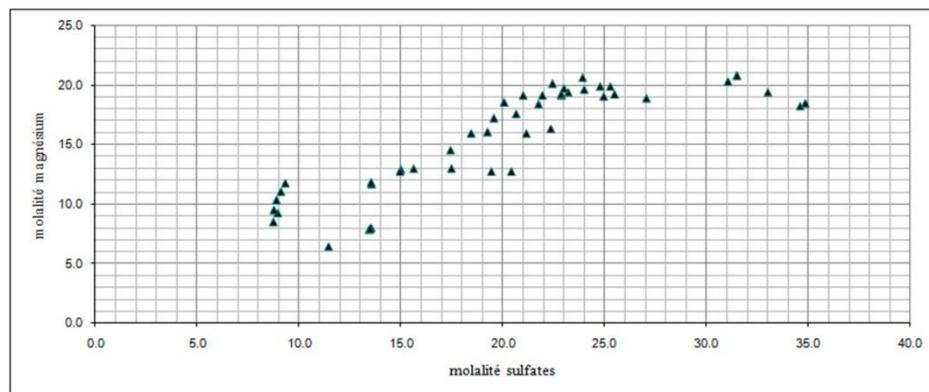


**Figure 6.-** Diagramme de concentration des sulfates

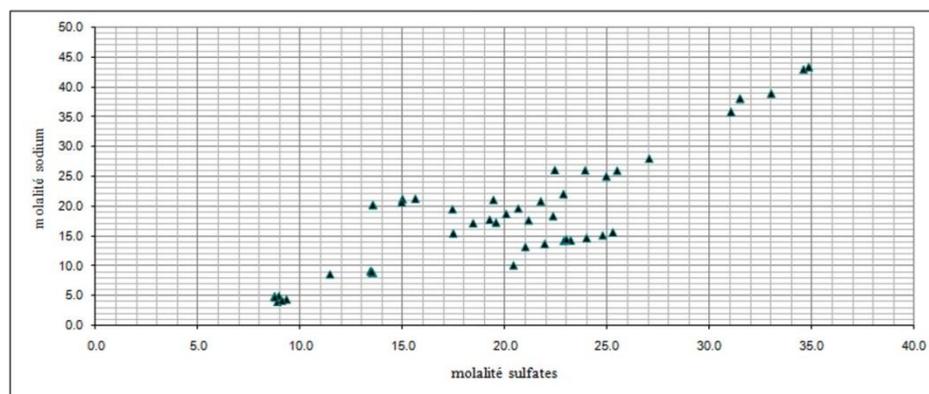


**Figure 7.-** Diagramme de concentration du magnésium

Pour mieux apprécier la relation qui semble exister entre les sulfates, le magnésium et le sodium, il est combiné les molalités des sulfates avec celles de ces deux autres éléments. Ainsi, les figures 8 et 9 montrent en plus de l'origine commune, l'existence des origines multiples des éléments, et que pour une molalité des sulfates de l'ordre de 28 (meq/l), le magnésium commence à diminuer alors que le sodium augmente avec les sulfates, ce qui peut être expliqué par un échange de base (87% des eaux de la région présentent un indice d'échange de base "i.e.b" positif [8]. La conséquence de ce phénomène est l'apparition du faciès sulfaté sodique dans les eaux de la région.



**Figure 8.-** Couple sulfates-magnésium



**Figure 9.-** Couple sulfates-sodium

Concernant le strontium, il est remarqué que les valeurs du rapport  $Sr^{2+}/Ca^{2+}$  dans les eaux étudiées sont très élevées et dépassent dans tous les cas 5‰. Ceci confirme l'origine évaporitique de ces eaux. Ce rapport atteint un maximum de 18‰ au centre et en allant vers l'Ouest de la plaine (zone de convergence des eaux). Puis il diminue progressivement vers le Nord, avec un max de 10‰, et vers l'Est où se trouvent les valeurs minimales (entre 6 et 8‰) [3].

## Conclusion

L'étude hydrochimique des eaux souterraines de la plaine d'El-Outaya (zone aride) dans l'Atlas saharien montre une salinité assez élevée. La manière selon laquelle évoluent les éléments chimiques dans l'eau lors de leurs parcours souterrains détermine deux faciès dominants (chloruré et sulfaté). Par ailleurs, l'existence du phénomène d'échange de base est mise en évidence par la répartition spatiale des eaux sulfatées sodiques avec la diminution du magnésium et l'augmentation du sodium.

L'évolution des logs molalités des éléments majeurs en fonction du log du facteur de concentration (Fc) montre que la salinité de ces eaux est causée par les minéraux évaporitiques (gypse, anhydrite et halite), et spécialement par l'halite largement sous-saturée pouvant se dissoudre davantage, provoquant ainsi l'augmentation de la concentration globale. Tandis que les éléments issus des minéraux carbonatés n'évoluent pas proportionnellement au log facteur de concentration et participent à des précipitations. Les valeurs élevées du rapport ( $Sr^{2+}/Ca^{2+}$ ) qui dépassent dans toute la plaine le seuil de 5‰, et atteignent une valeur de 18‰ confirment l'influence des roches évaporitiques.

## Références bibliographiques

- [1].- DPAT, 2009.- Monographie de la wilaya de Biskra. Ed. Wilaya de Biskra: 13-27.
- [2].- Brinis N., 2003.- Essai d'explication de la salinité des eaux de la nappe du Mio-Pliocène, cas de la zone est de la plaine d'El-Outaya Biskra (Algérie). Mémoire de magister, Université Badji Mokhtar, Annaba, 150 p.
- [3].- Brinis N, 2011. - Caractérisation de la salinité d'un complexe aquifère en zone aride. Cas de l'aquifère d'El-Outaya – nord ouest de Biskra, Algérie. Thèse de doctorat en sciences de l'université Med khider, Biskra, 231p.
- [4].- Lafitte R., 1939.- Etude géologique de l'Aurès. Bull. Serv. Carte géol. Algérie, 2<sup>ème</sup> sér., Stratigr. Descript. Région., n°15, 451 p.
- [5].- Guiraud R., 1990.- Evolution post-triasique de l'avant pays de la chaîne alpine en Algérie d'après l'étude du bassin du Hodna et des régions voisines. Pub. ONG, Alger, 259 p.
- [6].- Chebbah M., 2007.- Caractérisation sédimentologique et géochimique du Néogène, de part et d'autre de l'accident sud-atlasique, région de Biskra. Thèse de doctorat d'état de l'Université mentouri, 417 p.
- [7].- Chebbah M., Marmi R., et Lamouroux C., 2008.- Sédimentologie des faciès et paléogéographie du bassin d'El-Outaya au Néogène (Atlas saharien, Algérie).

Bulletin du Service Géologique National, vol. 19 (3): 235-244.

- [8].- Brinis N., Boudoukha A., Djabri L. et Mania J., 2009.- La salinité des eaux souterraines de la zone Est de la plaine d'El-Outaya (Région de Biskra, Algérie). Publication au Bulletin du Service Géologique National, vol. 20, (1): 49-61.
- [9].- Barbiero L., 1992.- Aspects géochimiques de l'alcalinisation des sols dans la Vallée du Dallol Bosso (République du Niger). Cah. ORSTOM, Sér. Pédol; Vol. XX VII (2): 143-152.
- [10].- Droubi A., 1976.- Equilibres entre minéraux et solutions. Programme de calcul appliqué à la prédiction de la salure des sols et des doses optimales d'irrigation. Cah. ORSTOM, Sér. Pédol, vol. XIV (1): 13-38.
- [11].- Carré J, Pinta M., 1979.- Variations des teneurs en strontium dans les eaux du bassin de Paris. Note (remise le 9 avril 1979), C. R. Acad. Sc., Paris, tome 288 (23 avril 1979) Série D : 1115-1118.
- [12].- Abdesselem M, J. Mania, J. Mudry, J. P. Gélard, P. Chauve, H. Lami et C. Aigoun, 2000.- Arguments hydrogéochimiques en faveur de Trias évaporitique non affleurant dans le massif du Djurdjura (dorsale kabyle, élément des Maghrébides). Revue des sciences de l'eau / Journal of Water Science, vol. 13, n° 2, 2000, 155-166.
- [13].- Bakalowicz M., 1988.- La formation des travertins : aspects géochimiques. Essai de synthèse et de discussion. In: les édifices travertineux et l'histoire de l'environnement dans le midi de la France, Aix-en-Provence, 280p. Travaux de l'UA 903 et ATP PIREN. Aix-en-Provence, n°XVII : 210-225.
- [14].- Meyrbek M., 1984.- Les fleuves et le cycle géochimique des éléments. Thèse Paris VI, ENSup., 506 p.