

CLASSIFICATION STATISTIQUE ET HYDROCHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES DE LA PLAINE D'EL-OUTAYA. (W) DE BISKRA-ALGÉRIE.

Statistical and hydrochemical groundwater's classification of the plain El-Outaya. Biskra-Algeria.

BRINS NAFAA, BOUDOUKHA ABDERRAHMANE

Laboratoire de recherche en hydraulique appliquée (LARHA). Université de Batna.
nafaabrinis@yahoo.fr

RESUME

La plaine d'El-Outaya se trouve dans une zone aride. Ses eaux souterraines sont caractérisées par une salinité assez élevée ainsi qu'une variabilité d'une zone à autre. Ce travail vise à améliorer les connaissances sur ces eaux en procédant à leurs classifications statistiques et hydrochimiques. La méthode C.A.H (classification ascendante hiérarchique) fait ressortir à l'échelle des observations trois tendances basées sur l'importance de la minéralisation, alors que pour les variables, l'influence des roches évaporitiques est bien marquée. Concernant la synthèse hydrochimique, elle regroupe les mêmes tendances en trois faciès dominants.

Mots clés : Eaux souterraines, Classification Ascendante Hiérarchique (C.A.H), Hydrochimie, Salinité, Faciès chimique, Plaine.

ABSTRACT

The plain of El-Outaya is in arid zone in southern Algeria. The groundwater are characterized by an Important and variability in its salinity. This work is presented to improve knowledge on these waters by proceeding to their statistical and hydrochemical classifications. Method C.A.H (hierarchical ascending classification) takes of three tendencies based on the importance of the mineralization. The salt rocks are responsible of this height salinity. Concerning the hydrochemical synthesis, the statistical information is confirmed. There is three dominant groups.

Keywords: Groundwater, Hierarchical Ascending Classification (C.A.H), Hydrochemistry, Salinity, chemical groups, Plain of El-Outaya.

1 INTRODUCTION

La plaine d'El-Outaya (la grande plaine) se trouve dans les territoires de la wilaya de Biskra dans l'Est algérien (Figure.1). Elle est largement tournée vers l'agriculture et compte plus de 11000 habitants (DPAT (W) Biskra, 2009). 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 associé à 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 et continuerait de provenir 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 sa qualité. L'étude de ces eaux montre en certains endroits une minéralisation assez élevée caractérisée par un faciès gypso-salifère (Brinis, 2003).

2 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 Dj. Bou Rhezel (Biskra) et au sud du dôme de Dj. El Melah (El-Outaya) (Figure N°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 (Pontien) gréseux fluvatile, 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 (Lafitte (1939), Guiraud (1990), Chebbah (2007, 2008))

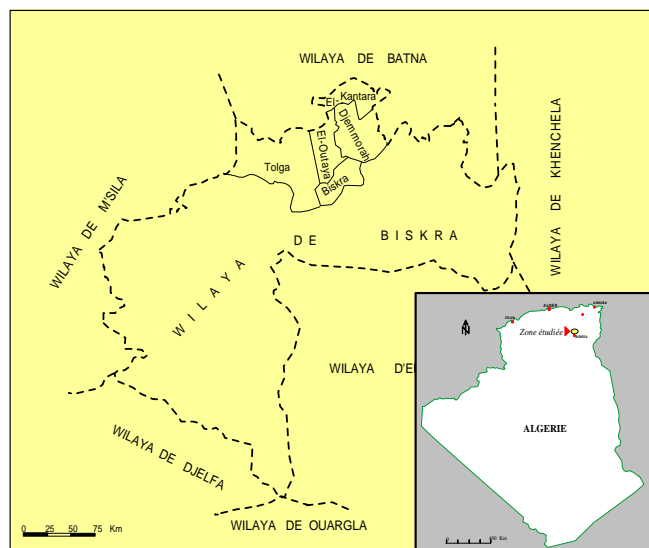


Figure : 1 Situation de la plaine d'El-Outaya

3 CONTEXTE HYDROGÉOLOGIQUE:

L'aquifère Néogène a été décrit selon les études géologique comme un réservoir multicouche 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 de l'oued en relation directe avec ce dernier 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 diminuent 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.

Concernant les axes des écoulements souterrains, l'établissement de la carte piézométrique (figure 3) a mis en évidence deux directions privilégiées des eaux souterraines:

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.

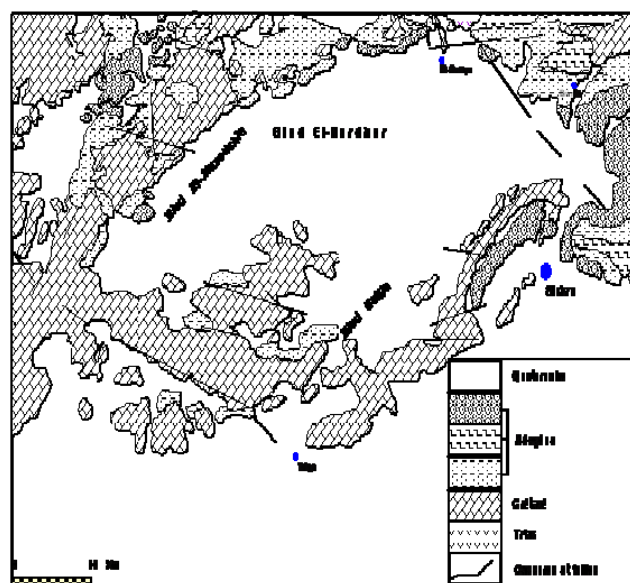


Figure 2 : Carte géologique de la plaine d'El-Outaya (In Chebbah 2007)

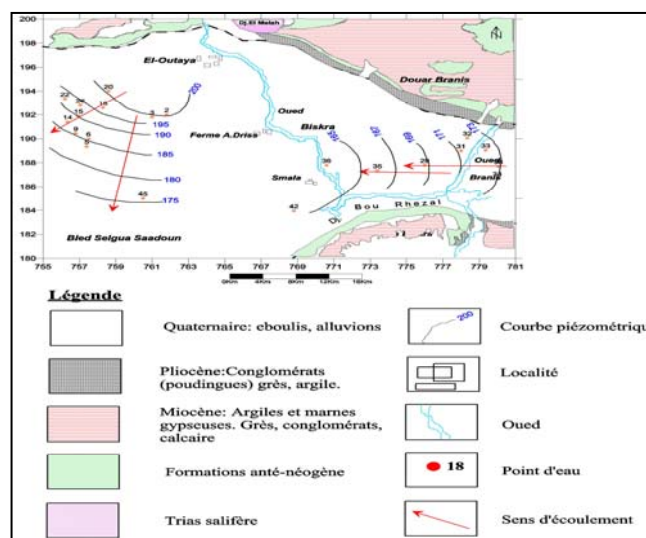


Figure3 : Carte piézométrique de la nappe du Néogène (Brinis 2009)

4 ANALYSE STATISTIQUE DES PARAMETRES CHIMIQUES:

Tout d'abord un essai de corrélation (tableau 1) des différents paramètres étudiés a mis en évidence une relation étroite entre le Ca, Mg, Na, SO₄, Cl et la conductivité électrique. Cette relation se traduit par les coefficients de corrélation se rapprochant de "1" (tableau 1).

Les liens significatifs peuvent être probablement attribués à des origines communes de ces éléments

Puis ces résultats ont fait l'objet d'un traitement statistique par la méthode de la Classification ascendante hiérarchique (C.A.H) à l'aide du logiciel XLSTAT 2007.1 -(version Demo).

Tableau 1 : Matrice de corrélation des paramètres chimiques mesurés.

Variabes	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	Con	pH	NO ₃
Ca	1									
Mg	0.699	1								
Na	0.902	0.635	1							
K	0.600	0.546	0.480	1						
HCO ₃	0.574	0.687	0.559	0.343	1					
SO ₄	0.901	0.844	0.858	0.606	0.635	1				
Cl	0.868	0.638	0.970	0.444	0.533	0.783	1			
Con	0.921	0.787	0.949	0.507	0.582	0.916	0.938	1		
pH	0.188	0.260	0.204	0.222	0.102	0.183	0.246	0.257	1	
NO ₃	0.346	0.453	0.514	0.315	0.246	0.452	0.477	0.528	0.183	1

Tableau2: Barycentres (Centre de gravité) des variables par classes variables par classes

Classe	Ca	Mg	Na	K	HCO ₃	SO ₄	Cl	Con
1	199.500	199.900	429.600	3.700	147.150	970.700	743.850	3593.000
2	307.833	232.500	870.500	5.333	193.167	1535.833	1254.000	5641.667
3	123.000	107.375	143.125	2.625	122.875	498.875	284.000	1553.750

4.1 Classification des variables

Le graphique de la classification des variables (figure 4) montre tout d'abord la participation de tous les paramètres mesurés dans la conductivité mais à des degrés variables. On remarque, par ailleurs, le regroupement des paramètres mesurés selon deux tendances :

- Un premier groupe représentant une étroite liaison entre le sodium et les chlorures qui sont liés à leur tour par les sulfates ;
- Un deuxième groupe est constitué par les paramètres restants, la liaison se fait comme suit : Une dépendance entre calcium et magnésium qui sont tout deux en relation étroite avec les bicarbonates.

Le tout est en relation avec le potassium.

Ces deux groupes sont en liaison avec la conductivité électrique comme il a été démontré par les régressions simples plus haut.

Puis un centre de gravité pour l'ensemble de la classe (tableau 3).

Enfin, le logiciel calcule la distance (Ecart) entre les centres de gravités (Barycentres) de ces classes (tableau 4).

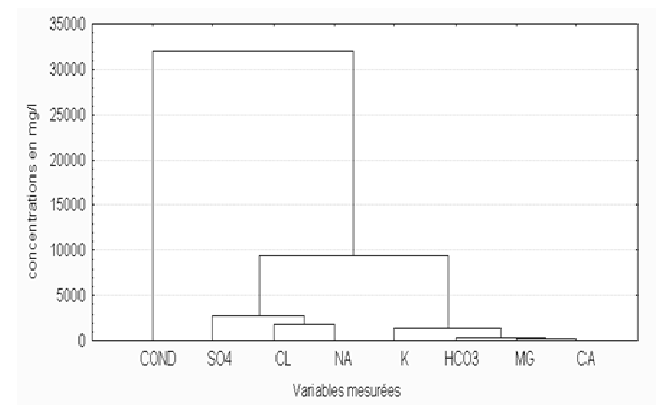


Figure 4 : Classification ascendante hiérarchique des variables (C.A.H)

Tableau3 : Barycentres (Centre de gravité) des classes

Classe	Distance min au barycentre	Distance moy au barycentre	Distance max au barycentre
1	144.153	554.927	1321.308
2	120.117	299.349	528.479
3	145.907	392.05	713.094

4.2 Classification des observations:

Une classification par la même méthode (CAH) a été appliquée aux observations.

Le principe est basé sur la classification des observations autour d'un centre de gravité (Barycentre) pour chaque variable dans chaque classe (tableau 2).

Tableau 4 : Distances entre les barycentres des classes

Classe	1	2	3
1	0	2232.930	2165.570
2	2232.930	0	4394.438
3	2165.570	4394.438	0

4.3 Interprétation de la classification des observations

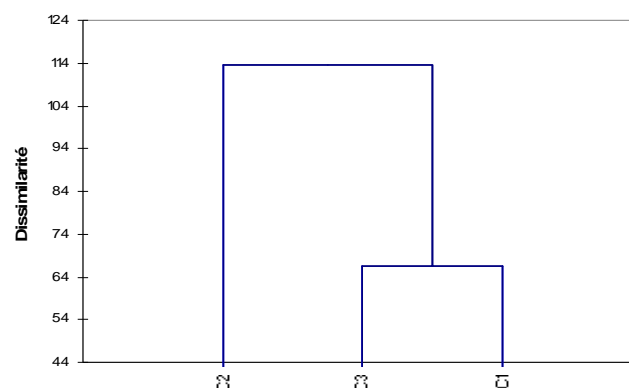
Le traitement statistique des observations par cette méthode, fait ressortir trois classes de minéralisation (figure.5):

- Une classe (3) de faible minéralisation ayant une conductivité inférieure à 1600 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Il s'agit ici des eaux faiblement chargées par rapport à l'ensemble des échantillons analysés.
- Une classe (1) de minéralisation moyenne avec une conductivité de l'ordre de 3593 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Cette classe est caractérisée par des concentrations assez élevées en sodium, sulfates et en chlorures.
- Une classe (2) de minéralisation élevée avec une conductivité correspondante aux valeurs extrêmes mesurées ($> 3600 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Les eaux de cette classe sont très chargées.

L'observation du tableau 4 "la distance entre les barycentres des classes", montre que la classe (1) est proche à la fois de la classe (2) et de la classe (3). Alors que l'écart entre la classe (2) et (3) est important. Cet écart confirme la variabilité importante entre les valeurs maximales et minimales de la minéralisation des eaux.

Tableau 5: Analyses physico-chimiques des échantillons

Variabes	Unité	Min	Max	Moy	Ecart-type	% Ecart de la moy
Ca	mg/l	96.000	348	200.618	66.767	33.28%
Mg	mg/l	77.000	250	183.882	55.863	30.38%
Na	mg/l	92	997	440	254.106	57.75%
K	mg/l	2	6	3.735	1.310	35.07%
HCO ₃	mg/l	98	314	149.559	45.411	30.36%
SO ₄	mg/l	420	1672	959.412	371.117	38.68%
Cl	mg/l	219	1328	725.676	353.823	48.76%
NO ₃	mg/l	0	30	10.088	5.786	57.35%
TDS	mg/l	1080	4980	2999.412	1198.439	39.96%
Con	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	1110	5940	3475	1423	40.96%
pH	-----	7.4	8.82	7.849	0.280	3.57%
Sr	mg/l	1.79	6.49	17	3.882	22.83%
Sr/Ca	meq/l ‰	5.912	9.279	18.783	3.273	17.42%

Dendrogramme**Figure 5: Classification ascendante hiérarchique des observations (C.A.H)**

5 CARACTERISATION HYDROCHIMIQUE DES EAUX SOUTERRAINES:

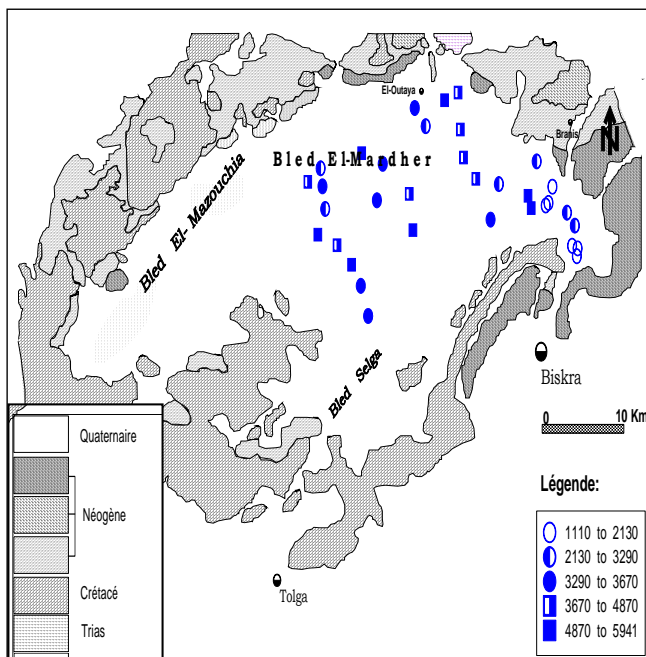
Les eaux sont caractérisées par une grande variabilité (tableau 5) de la salinité dans l'espace. La minéralisation augmente progressivement de l'Est vers le centre de la plaine et du Nord vers le Sud. Les eaux sont en général moins chargées en sels à l'Est, alors qu'elles présentent au centre et au nord une salinité assez élevée (Brinis, 2003) (Figure 6).

Cette salinité est surtout contrôlée par les chlorures, les sulfates et le sodium. Ce qui témoigne de l'influence des formations évaporitiques, indice de contamination à grande échelle.

5.1 Faciès chimiques:

L'analyse des faciès chimique, montre que les eaux de la plaine se regroupent en trois familles :

- La famille des eaux chlorurées sodiques, dominante avec 53%. Elle se localise sur l'axe Nord-Sud dans la partie centrale de la plaine. Ces eaux sont le résultat de la dissolution des formations triasiques (diapir de sel). Elles sont très chargées en sels et comportent les valeurs extrêmes de la conductivité.
- La famille des eaux sulfatées magnésiennes représente 35% et occupe la partie Est de la zone étudiée. Ces eaux sont le résultat de la dissolution des roches évaporitiques de l'Aquifère Néogène. Ces eaux sont moins chargées que les précédentes et caractérisée par les faibles valeurs de la conductivité.
- La famille des eaux sulfatées sodiques représentant 12 % et correspond à un terme de passage entre les deux dernières familles. L'existence de cette famille peut être expliquée par un échange de base entre le magnésium et le sodium. Elle se trouve localisée à la limite de la zone Est.



Figure° 6: Répartition spatiale de la conductivité électrique

5.2 Relation entre les paramètres dominants ($SO_4^{2-}/Cl^- - Mg^{2+}/Na^+$):

La combinaison des éléments dominants des eaux dans le même diagramme (Figure 7) sous forme de rapports caractéristiques (SO_4/Cl et Mg/Na) résume les tendances chimiques caractérisant les eaux de la région ainsi que leur évolution. Les eaux dans la région Est de la plaine présentent une teneur élevée en sulfates par rapport aux chlorures. La présence du magnésium leur confère un faciès sulfaté magnésien. Au contact avec les eaux chlorurée venant du Nord, ces eaux deviennent chlorurées sodiques à sulfatées représentant ainsi un terme de passage entre les eaux des régions nord et Est. Enfin, dans les zones nord à forte influence du diapir les eaux sont chlorurées sodiques

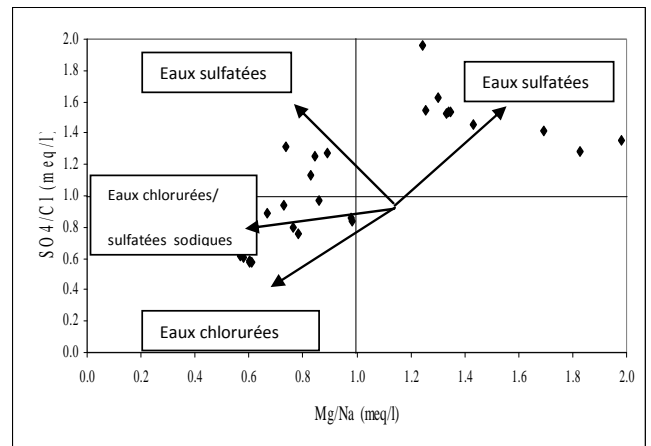


Figure 7: La relation ($SO_4/Cl - Mg/Na$)

5.3 Etude du strontium:

Le strontium (Sr^{+2}) est un élément trace lié aux évaporites. Il forme ainsi un bon marqueur de leur présence (Carre, 1975).

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). (Aigoun 2000 et Abdesselem et al. 2000).

Le rapport ionique (en concentration molaire) Sr^{2+} / Ca^{2+} est caractéristique d'une origine évaporitique s'il est égal ou supérieur à 1 ‰ (Bakalowicz, 1988). Il est supérieur à 5 ‰ dans les évaporites du Trias alpin (Meybeck, 1984). Nous remarquons que les valeurs du rapport 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 trouve les valeurs minimales (entre 6 et 8‰). Figure 8.

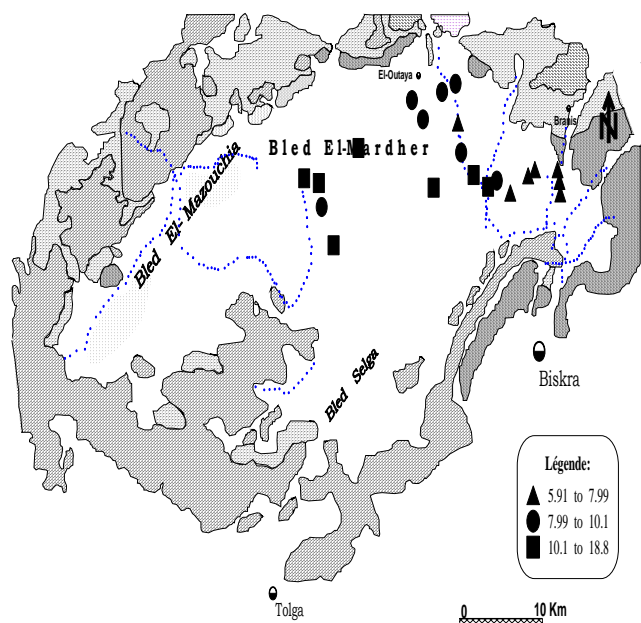


Figure 8: Répartition spatiale du rapport Sr/Ca dans les eaux de la plaine d'El-Outaya

6 CONCLUSION:

Le chimisme des eaux de la plaine d'El-Outaya est influencé par la dissolution des roches évaporitiques ceci est confirmé par les valeurs élevées en strontium qui dépassent dans toute la plaine le seuil de 5 ‰, il atteint une valeur de 18 ‰. Les teneurs en éléments chimiques présentent une grande variabilité dans l'aquifère. Cette variabilité se traduit par l'écart type qui dépasse parfois 50% de la valeur de la moyenne.

Le traitement statistique des paramètres chimiques montre à l'échelle des variables deux pôles; le premier sulfate chloruré sodique et le deuxième bicarbonate magnésien calcique. A l'échelle des variables, le traitement dégage trois groupes classés selon l'importance de la minéralisation. L'étude hydrochimique et statistique, met en évidence trois familles d'eau ayant une origine commune et une minéralisation bien distincte.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] Chauve P., Lami. H., Aigoun C. (2000): Arguments hydrogéochimiques en faveur de Trias évaporitique non affleurant dans le massif du Djurdjura (dorsale kabyle, élément des Maghrébides). Rev. Sci. Eau. 13/2(2000) 155-166.
- [2] Bakalowicz. M, (1988): La formation des travertins : aspects géochimiques. Essai de synthèse et de discussion n° XVII, U.A. 903 CNRS et ATP PIREN Aix en Provence.
- [3] 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 ALGERIE. Mémoire de magister, Univ.Badji mokhtar Annaba, 150p.
- [4] Brinis. N, (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, N°1, pp.49-61, 2009.
- [5] Carre. J, (1975): Géochimie du strontium dans les eaux de la nappe et de surface de la région parisienne. Thèse 3^{ème} cycle Univ. Paris VI.
- [6] C.G.G (Campagne générale de Géophysique) (1971): Etude géophysique de la plaine d'El-Outaya.
- [7] 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. 417p.
- [8] 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, n°3, pp. 235 - 244, 2008.
- [9] DPAT (W Biskra), (2009): Monographie de la wilaya de Biskra.
- [10] D EM R H, (1980): Notice explicative de la carte hydrogéologique de Biskra. Rapp. Int, D.E.M.R.H / Minis. Hydrau. Algérie, 1980, 51p + 1 carte.
- [11] 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 ; 259p.
- [12] Lafitte. R, (1939): Etude géologique de l'Aurès. Bull. Serv. Carte géol. Algérie, 2^{ème} sér., Stratigr. Descript. Région. N°15, 451p.
- [13] Meyrbek. M, (1984): Les fleuves et le cycle géochimiques des éléments. Thèse Paris VI, E N Sup. France.