

LA SALINITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DE LA ZONE EST DE LA PLAINE D'EL-OUTAYA (RÉGION DE BISKRA, ALGÉRIE).

Nafaâ BRINIS*, Abderrahmane BOUDOUKHA*, Larbi DJABRI**
et Jacky MANIA***,

RÉSUMÉ

Ce travail a été réalisé en zone aride et concerne la salinité des eaux de la nappe du Mio-Plio-Quaternaire de la plaine d'El-Outaya (région de Biskra au sud algérien).

Cette plaine est le résultat d'un remplissage néogène qui repose en discordance sur tous les terrains antérieurs mésozoïques et paléogènes. Le Trias avec son diapir de sel reste un élément très important dans cette plaine par sa composition lithologique et ses contacts anormaux avec les autres formations.

Le contact de l'aquifère étudié avec le substratum se fait soit par des conglomérats, soit par des argiles.

L'hétérogénéité de la nappe du Mio-Pliocène se caractérise par la présence d'argile dans des proportions variables.

L'évaporation dans la région est très intense et consomme la majorité des précipitations.

La combinaison entre les outils, géologique, géophysique, statistique et chimique dans l'étude du problème de la salinité permet de déterminer l'origine et l'évolution dans l'espace de cette dernière. Les analyses effectuées indiquent la présence en fortes concentrations des éléments Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ et Mg^{2+} .

Dans la partie nord et ouest, les eaux sont caractérisées par un faciès chloruré sodique (influence de la halite), à l'est, le faciès sulfaté magnésien domine (influence du gypse). Entre ces deux faciès, on note une zone où les eaux sont mixtes, caractérisées par un faciès sulfaté sodique (échange de base).

L'interprétation thermodynamique a permis la détermination de l'influence des minéraux évaporitiques à des degrés variables dans la composition chimique des eaux. Ces minéraux sont à l'origine de la salinité des eaux de la région. Les minéraux carbonatés se trouvent sursaturés dans l'eau.

Mots clés - Salinité - Evaporites - Halite - Diapir - Echange de base - El-Outaya.

*Laboratoire de Recherche en Hydraulique Appliquée- LARHYA. Université de Batna. nafaa_brinis@yahoo.fr

Adresse du courrier – Cité de l'indépendance- El-Kantara – Biskra 07130.

**Université Badji Mokhtar, Annaba, Algérie.

***Université de Lille, France.

- Manuscrit déposé le 22 Février 2006, accepté après révision le 26 Février 2008.

THE SALINITY OF THE GROUNDWATER OF THE EASTERN PLAIN AREA OF EL-OUTAYA (BISKRA, ALGERIA).

ABSTRACT

The ground water in the plain of El-Outaya (w) Biskra (Southern Algéria) presents high salinity and this work tries to find its causes.

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 piezometric map shows two directions of flow: from the east to the west and from the north to the south. The heterogeneity of the aquifer of Mio-Pliocene is caused by the presence in variable proportions of clay.

The combination between, geological, hydrodynamic, statistical and chemical tools in the study of the problem of salinity allowed us to determine the origin and the evolution in the space of this salinity. The analysis made indicates the presence, in strong concentrations of Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ and Mg^{2+} .

In the northern and western part we note the presence of water characterized by a sodic Chloride facies (influence of halite), in the East, the magnesium sulphated facies dominates (Influence of gypsum). Between these two facies, there is a zone of a mixed water characterized by a sodic sulphated facies (base exchange).

Thermodynamic interpretation allowed the determination of the influence in variable degrees of the chemical composition of water by evaporitic minerals. These minerals are the origin of the salinity of waters. The carbonated minerals are supersaturated.

Key words - Salinity - Evaporites - Halite - Diapir - Basic exchange - El-Outaya.

LA SALINITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DE LA ZONE EST DE LA PLAINE D'EL OUTAYA
(RÉGION DE BISKRA, ALGÉRIE)

1. INTRODUCTION

L'un des grands problèmes liés aux zones arides et semi-arides est sans doute la salinité des eaux souterraines. C'est un des facteurs importants qui provoquent la dégradation de la qualité des eaux naturelles, souvent liée à la nature lithologique des roches réservoirs, à l'évaporation intense et au régime pluviométrique faible.

La plaine d'El-Outaya se trouve au nord des territoires de la wilaya de Biskra au sud algérien, à environ 500 km au sud d'Alger (fig. 1).

Les eaux de la nappe du Mio-Plio-Quaternaire de la zone est de cette plaine présentent une salinité assez élevée variant entre 1 et 5 g/l (Brinis, 2003).

L'objectif de cette étude est d'essayer de trouver une explication à cette salinité, son mode d'acquisition et son origine, en utilisant l'évolution des éléments chimiques et le contexte géologique.

2. CONTEXTE GÉOLOGIQUE ET HYDROGÉOLOGIQUE

C'est une plaine subsidente orientée sensiblement E.NE – W.SW et située entre deux anticlinaux, Elle se trouve au nord de l'anticlinal du dj.Bou Rhezal (Biskra) et au sud du dôme de dj. El Melah (El-Outaya). C'est une plaine qui a fonctionné comme un bassin de sédimentation pendant tout le Néogène. Elle est constituée à la base par un Miocène laguno-marin, recouvert par du Messinien (Pontien) 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. Leur relèvement à la périphérie du bassin indique que celui-ci a été affecté par les mouvements les plus récents (Quaternaire basal). Le Néogène repose en discordance sur tous les terrains antérieurs mésozoïques et paléogènes (Chebbah, 2007).

3. PIÉZOMÉTRIE

De nombreuses lacunes et incohérences ont été remarquées dans les données piézométriques, ce qui ne permet pas de tracer une carte couvrant tout le terrain d'étude et pour une meilleure représentation on a :

- évité d'utiliser un logiciel de cartographie automatique;
- effectué un nettoyage de quelques points qui peuvent influencer l'interprétation de la carte (comme celui utilisé pour l'A.E.P et qui est surexploité créant ainsi un entonnoir au niveau de la ferme D.Amor);
- les courbes sont tracées à l'ouest et à l'est (zones couvertes par des puits).

On remarque tout d'abord que le rôle des bordures n'est pas clair dans la carte. Mais on

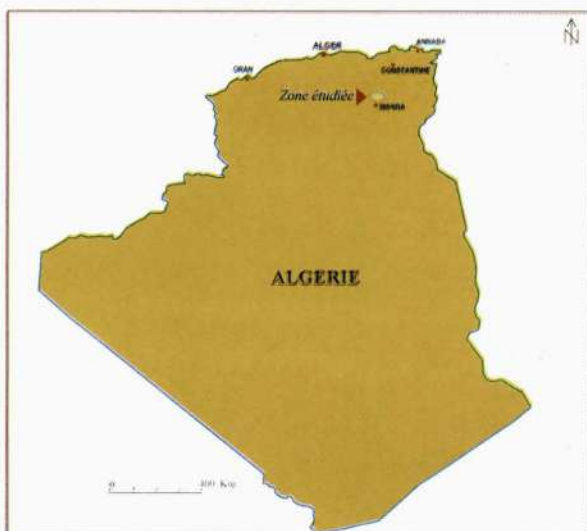


Fig. 1 - Situation de la plaine d'El Outaya
Situation of El Outaya plain

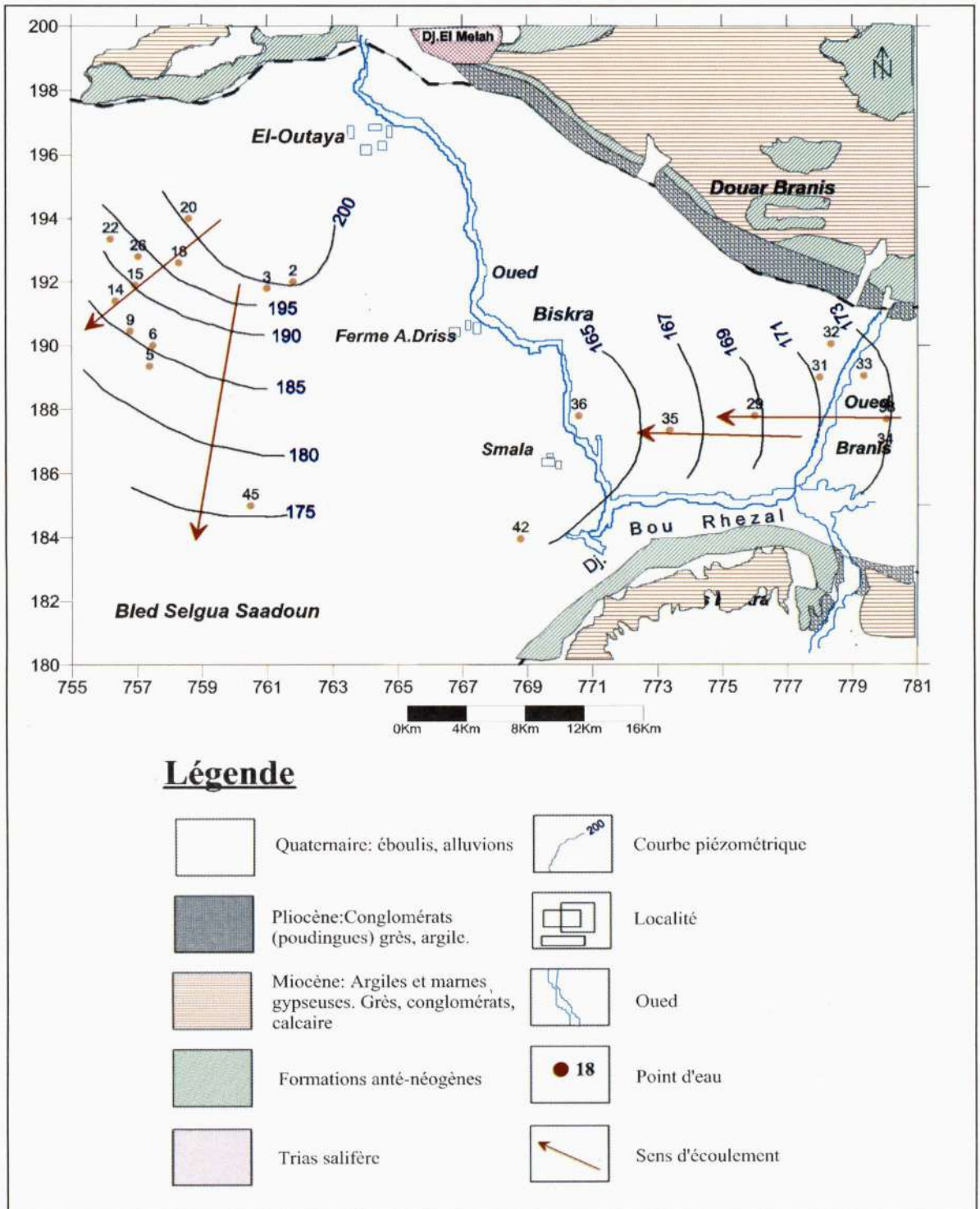


Fig. 2 - Carte piézométrique (Fév., 2000).
 Piezometric map (Feb., 2000)

LA SALINITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DE LA ZONE EST DE LA PLAINE D'EL OUTAYA
(RÉGION DE BISKRA, ALGÉRIE)

note en général, deux directions d'écoulement selon les données des puits disponibles :

- un écoulement de l'est vers l'ouest dans la partie est de la zone étudiée. L'équidistance utilisée est de 2 m;
- un écoulement du N-NE-S-SW et N-NW-S-SE dans la partie ouest de la zone étudiée. L'équidistance utilisée est de 5 m.

Ces directions privilégiées des écoulements peuvent être dûes en grande partie à la topographie du substratum soulevé sur les bordures est et nord.

4. CONDITIONS AUX LIMITES

Si la piézométrie n'explique pas le rôle des bordures, les travaux géologiques récents donnent la disposition des couches et les contacts de notre aquifère avec le substratum. Pour cela on a utilisé deux coupes de la carte hydrogéologique de Biskra (D E M R H, 1980; fig. 3 A, B). Ces deux coupes N-S présentent le néogène comme une même entité lithologique reposant en discordance sur le substratum.

Pour plus de détails concernant la nature lithologique du remplissage, on a exploité des colonnes lithologiques (fig. 3 C, D, E) à partir des travaux récents de Chebbah (2007). On s'est intéressé à celles qui touchent le substratum pour mieux apprécier la nature lithologique des formations de notre aquifère en contact avec ce substratum.

4.1. Bordure nord de la plaine

Bordure de la plaine au contact du diapir (djebel El Melah)

Les formations sur lesquelles repose en discordance notre aquifère d'étude, à la limite

nord de la plaine au contact du dj. El Melah (Le diapir), ne sont autres que les roches encaissantes de ce dernier. Ces roches apparaissent dans la succession lithologique décrite de haut en bas par Laffite (1939) comme suit :

Crétacé

Maestrichtien

Des calcaires argileux gris clairs, puis marnes jaune-verdâtres, constituent l'enveloppe du massif salin vers l'est. Des brèches argileuses gris-verdâtres et argilites violacées sont également observées à la bordure ouest et nord-ouest du djebel.

Jurassique

Lias

Des dolomies foncées éventuellement pyritifères souvent fissurées, parfois brèchoïdes; constituent à la bordure sud et nord-ouest du dj. El Melah des paquets en relief pouvant atteindre (500 m x 200 m); il en existe également plusieurs blocs de 50 m à 150 m dans le massif, notamment à son point culminant.

Coupe de l'oued Bou Guecha : (fig. 3 C)

La coupe décrite par Chebbah (2007) dans ses travaux (déjà décrite par Guiraud (1973)), levée le long de l'oued Bou Guecha au SE de dj. El Melah montre de bas en haut deux ensembles pétrographiques :

- 1^{er} ensemble conglomératique;
- 2^{ème} ensemble argilo-carbonaté.

On remarque dans cette coupe que le contact du Miocène avec le substratum se fait par l'ensemble conglomératique d'une épaisseur dépassant les 100m. Ce contact peut permettre l'échange d'eau.

Coupe de l'Oued Biskra - El Outaya :
(fig. 3 D)

La coupe a été levée le long de la rive gauche de l'oued Biskra à environ 2 km au N.NW du village d'El Outaya. Les formations néogènes reposent en discordance sur les calcaires sénoniens ou éocènes. Ce contact se fait avec des argiles miocènes épais de 160m environ.

De bas en haut, quatre ensembles pétrographiques se différencient dans la série néogène :

- 1^{er} ensemble argilo (marno)-calcaire;
- 2^{ème} ensemble gréso-conglomératique;
- 3^{ème} ensemble argilo (marno)-gréso- calcaire;
- 4^{ème} ensemble gréseux.

4.2. Bordure sud de la plaine

Coupe de Selga :
(fig. 3 E)

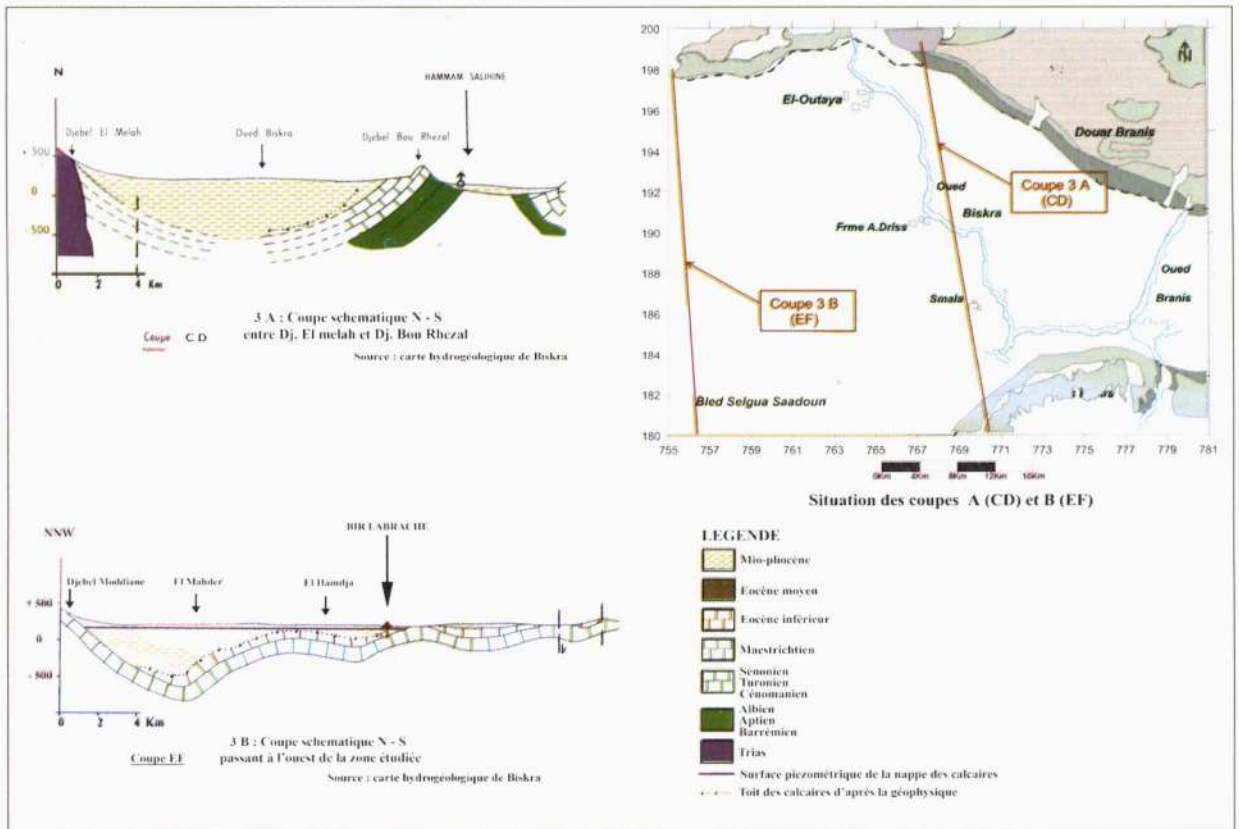
Elle est située au sud de la zone étudiée. Elle montre de bas en haut deux ensembles pétrographiques :

- 1^{er} ensemble conglomératique;
- 2^{ème} ensemble argileux.

Le contact avec le substratum se fait avec l'ensemble conglomératique (plus de 100 m d'épaisseur).

4.3. Conclusion

Vu le manque de données piézométriques complètes et détaillées de la région, le rôle des bordures reste mal connu, mais à partir des



LA SALINITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DE LA ZONE EST DE LA PLAINE D'EL OUTAYA
(RÉGION DE BISKRA, ALGÉRIE)

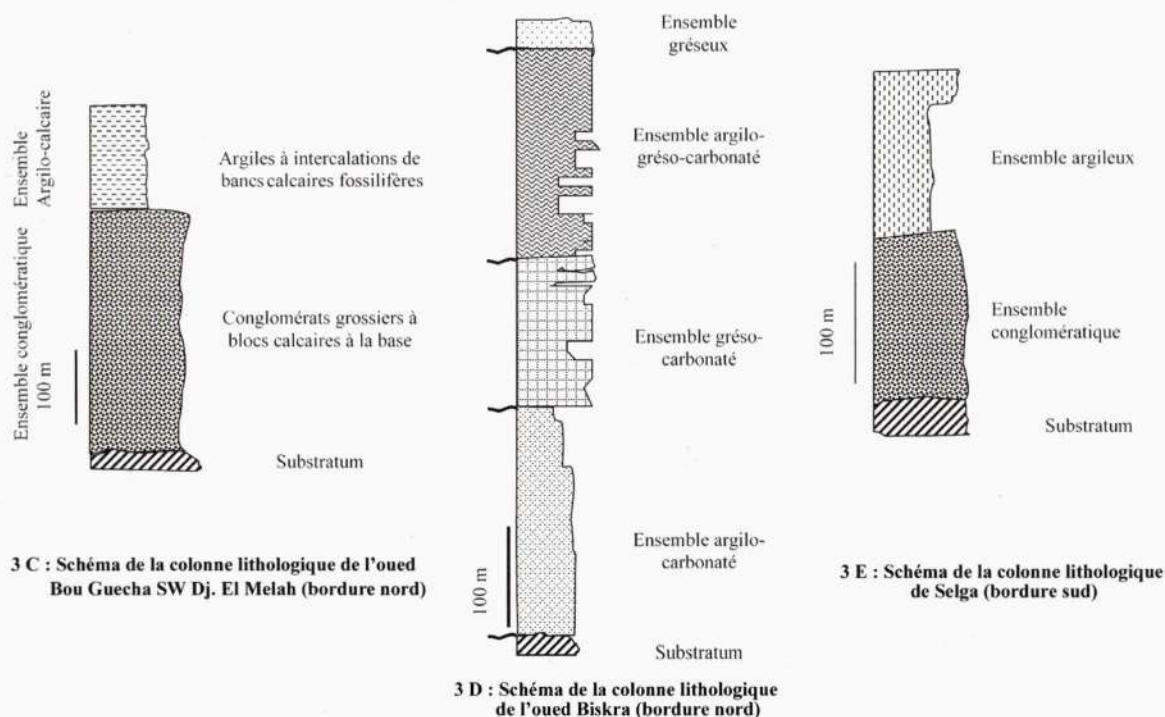


Fig. 3 - Coupes et colonnes lithologiques schématiques montrant la disposition lithologique au niveau des bordures
Cross section and lithologic logs showing the lithologic arrangements in the borders

travaux géologiques anciens et récents, on peut conclure ce qui suit :

1. Tout d'abord, l'aquifère étudié repose souvent en discordance, selon les endroits et les niveaux atteints par l'érosion post-tectonique, sur des formations d'âges différents (Oligocène, Eocène, Crétacé supérieur) (Chebbah, 2007).

2. Le contact de notre aquifère avec le substratum peut se faire suivant les cas par deux ensembles lithologiques possibles :

- soit par des conglomérats d'une épaisseur dépassant les 100 m pouvant permettre un échange important d'eau;

- soit par des argiles.

3. Au contact avec le diapir, Le Mio-Pliocène ne vient pas reposer directement en discordance sur le Trias (dj.El Melah) mais sur les roches encaissantes de ce dernier déjà décrites.

4. Par ailleurs, on ne peut négliger les filets d'eau saumâtre qui s'écoulent dans de profondes encoches à la périphérie du dj. El Melah, comme l'oued El Melah et qui s'infiltrent à partir de la surface dans le sous-sol, contribuant ainsi au chimisme des eaux souterraines. (SONAREM, 1974).

5. CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES DES EAUX

L'exploitation des résultats des analyses chimiques (Brinis, 2003; tabl. I) permet de dégager 3 familles d'eau :

- familles des eaux chlorurées sodiques;

- familles des eaux sulfatées magnésiennes;

- famille des eaux sulfatées sodiques.

6. MISE EN ÉVIDENCE DES LIENS EXISTANTS ENTRE LES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

Dans son travail, Debieche (2002) a étudié l'évolution des éléments chimiques dans les eaux en utilisant les corrélations qui existent entre ces éléments.

Dans notre cas, on remarque plusieurs corrélations significatives liant les différents éléments chimiques (tabl. II). Une forte corrélation ($r \geq 0.8$) existe entre la conductivité, Cl^- , SO_4^{2-} , Na^+ et Mg^{2+} , alors qu'une corrélation relativement significative ($r = 0.57$) existe entre les nitrates et la conductivité électrique de l'eau.

Pour expliquer quelques liens qui semblent exister entre les éléments chimiques qui apparaissent surtout comme faciès dominants, nous allons traiter quelques couples de ces éléments.

7. ORIGINE DES ÉLÉMENTS CHIMIQUES

7.1. Le couple SO_4^{2-} - Cl^- : fig. 4.

L'importance des faciès chloruré et sulfaté nous conduit à vérifier la relation entre ces deux éléments. Le graphe montre une tendance à l'alignement des points, indiquant probablement une origine commune, cependant quelques points

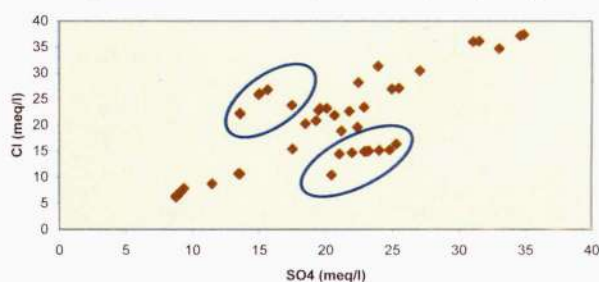


Fig. 4 - Le couple SO_4^{2-} - Cl^-

The couple SO_4^{2-} - Cl^-

Tableau I - Synthèse des résultats des analyses physico-chimiques en mg/l

Results of water analysis

	Ca	Mg	Na	K	Cl	SO_4	HCO_3	NO_3	Con	pH
min	96	77	92	2	219	420	98	0	1110	7
max	348	250	997	6	1328	1672	314	30	9540	9
moy	198	187	434	4	720	966	148	10	3515	8
Ecart type	59	51,93	232	1,2	324,22	337,87	40,9	5,15	1316	0,24

Tableau I - Corrélation entre les éléments chimiques

Relationship between the chemical elements

	Ca	Mg	Na	Cl	SO_4	NO_3	Con	pH
Ca	100							
Mg	0.68	1.00						
Na	0.90	0.65	1.00					
Cl	0.87	0.65	0.97	1.00				
SO_4	0.90	0.85	0.86	0.79	1.00			
NO_3	0.38	0.53	0.55	0.52	0.49	1.00		
Con	0.91	0.79	0.94	0.94	0.91	0.57	1.00	
pH	0.16	0.28	0.20	0.24	0.18	0.22	0.26	1.00

LA SALINITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DE LA ZONE EST DE LA PLAINE D'EL OUTAYA
(RÉGION DE BISKRA, ALGÉRIE)

présentent un excès en sulfates, d'autres un excès en chlorures. L'importance de l'excès de l'un ou de l'autre détermine la dominance du faciès de l'un sur l'autre.

7.2. La relation conductivité – Cl/SO_4 :
fig. 5.

On constate en général que pour les valeurs de conductivité inférieure à 3500 μ Siemens/cm, la conductivité est plus influencée par les sulfates. Alors qu'au dessus de cette valeur elle est influencée par les chlorures (incidence de diapir).

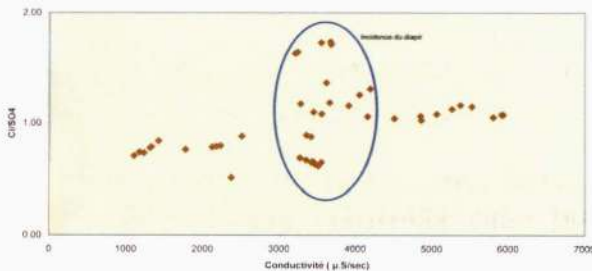


Fig. 5 - La relation conductivité – Cl/SO_4
The relation conductivity – Cl/SO_4

7.3. Le couple Cl^- - Na^+ :
fig. 6.

Le graphe montre un alignement des points ce qui implique la même origine des deux éléments chimiques probablement la dissolution de la halite ($NaCl$) se trouvant au nord (dj. El Melah). Cette relation confirme l'existence et l'importance du faciès chloruré sodique.

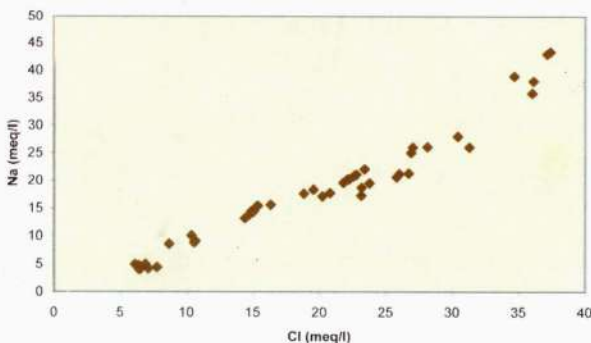


Fig. 6 - Le couple Cl^- - Na^+
The couple Cl^- - Na^+

7.4. Le couple SO_4^{2-} - Ca^{+} :
fig. 7.

Les points montrent une tendance à l'alignement, pas assez parfaite comme pour le $Na - Cl$, néanmoins la relation indique une origine commune des deux éléments, qui serait liée à la dissolution du gypse. Sachant que le faciès sulfaté calcique n'apparaît pas comme dominant dans les eaux de la région.

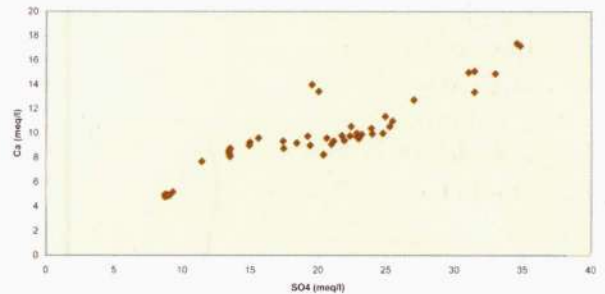


Fig. 7 - Le couple SO_4^{2-} - Ca^{+}
The couple SO_4^{2-} - Ca^{+}

7.5. La relation SO_4^{2-}/Cl^- - Ca^{+}/Na^{+} :
fig. 8.

L'observation du graphe met en évidence trois familles :

- des eaux riches en $NaCl$, caractérisant une salinité due à la halite (dissolution);
- des eaux riches en $CaSO_4$ montrant une salinité due aux gypses;
- des eaux riches en $NaSO_4$ (eaux mixtes).

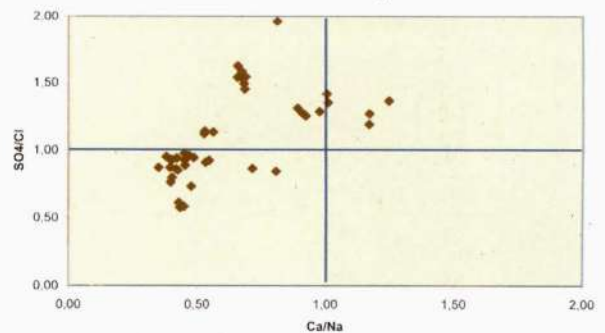


Fig. 8 - La relation SO_4^{2-}/Cl^- - Ca^{+}/Na^{+}
The relation SO_4^{2-}/Cl^- - Ca^{+}/Na^{+}

Les échantillons riches en Ca SO_4 sont peu nombreux (5) ce qui traduit probablement un échange de base important entre le calcium et le sodium ou l'existence d'un autre élément accompagnant les sulfates.

Comme le magnésium est important et apparaît avec les sulfates dans le faciès sulfaté magnésien, nous allons nous intéresser à cet élément et chercher sa relation avec le calcium et les sulfates à la fois pour déterminer l'élément qui accompagne le mieux les sulfates.

7.6. Le relation $\text{SO}_4^{2-} - \text{Mg}^+/\text{Ca}^+$: fig. 9.

Le graphe montre un lien étroit entre les sulfates et le magnésium, on remarque que les deux éléments croissent simultanément. A noter que le magnésium peut avoir d'autres origines (dolomie à titre d'exemple) partie gauche du graphe. Sur la partie droite, on note une baisse qui serait probablement liée à un échange de base.

Le Mio-Pliocène étant constituée essentiellement de roches évaporitiques, les eaux se chargent rapidement en sels. Les eaux de dissolution du gypse apportent des ions Ca^+ . La limite de solubilité des sulfates de calcium peut être atteinte facilement en raison de l'abondance de ce sel.

Le magnésium et le calcium accompagnent les sulfates. L'augmentation des sulfates entraîne non seulement l'augmentation du calcium mais aussi du magnésium. Le gypse renferme toujours

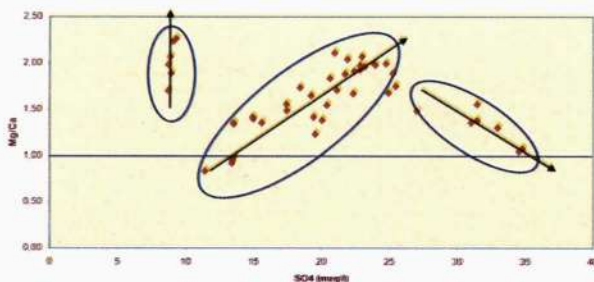


Fig. 9 - La relation $\text{SO}_4^{2-} - \text{Mg}^+/\text{Ca}^+$
The relation $\text{SO}_4^{2-} - \text{Mg}^+/\text{Ca}^+$

une proportion plus ou moins élevée en magnésium. La présence des sulfates et du magnésium en fortes concentrations caractérise ainsi les eaux du Sahara (Schoeller, 1962).

7.7. La relation $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^- - \text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$: fig. 10.

L'utilisation du magnésium explique mieux les types des eaux caractérisant la région d'étude. Le graphe montre en plus des deux familles citées précédemment (chlorurée sodique et sulfatée sodique) l'apparition d'une troisième famille assez importante caractérisée par des eaux sulfatées magnésiennes. Ces eaux sont le résultat de la dissolution des minéraux évaporitiques et surtout les sulfates de magnésium.

Par ailleurs, La présence de la famille des eaux sulfatées sodiques peut être expliquée par l'échange de base qui s'effectue entre le magnésium et le sodium.

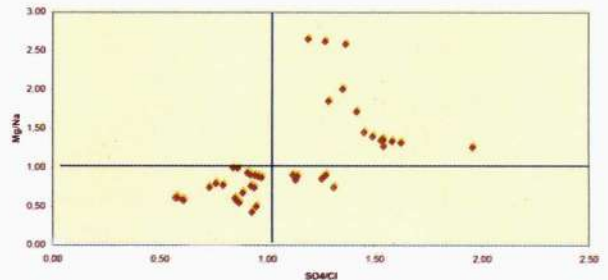


Fig. 10 - La relation $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^- - \text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$
The relation $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^- - \text{Mg}^{2+}/\text{Na}^+$

7.8. Le couple $\text{Mg}^+ - \text{Na}^+$: fig. 11.

Le graphe met en évidence trois tendances :

- le magnésium évolue indépendamment du sodium (origine autre que les évaporites);
- évolution simultanée du sodium et du magnésium (dissolution des évaporites);
- diminution du magnésium alors que le sodium reste en évolution (échange de base entre sodium et magnésium).

LA SALINITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DE LA ZONE EST DE LA PLAINE D'EL OUTAYA
(RÉGION DE BISKRA, ALGÉRIE)

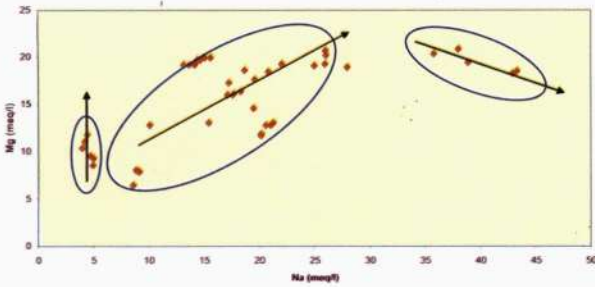


Fig. 11 - Le couple $Mg^{2+} - Na^+$
The couple $Mg^{2+} - Na^+$

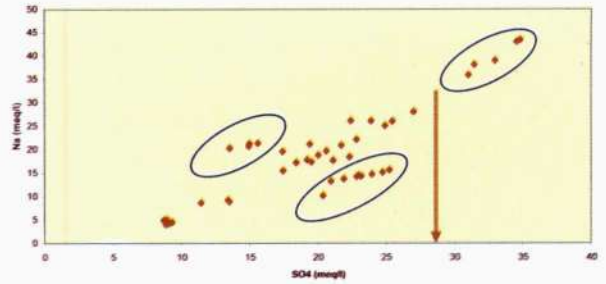


Fig. 13 - Le couple $SO_4 - Na$
The couple $SO_4 - Na$

7.9. Le couple $SO_4^{2-} - Mg^+$:
fig. 12.

L'évolution du magnésium se fait avec les sulfates jusqu'à une valeur des sulfates (de 28 meq/l) où le magnésium diminue systématiquement, alors que les sulfates restent en évolution. Ces derniers continuent à évoluer avec un autre élément (supposé être le sodium).

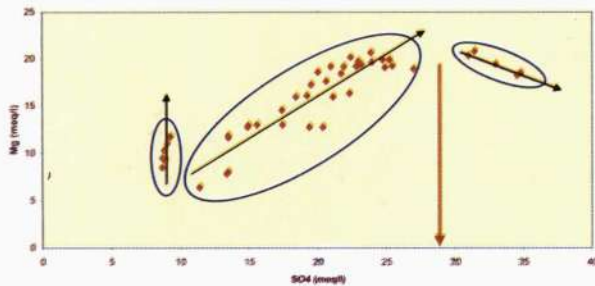


Fig. 12 - Le couple $SO_4^{2-} - Mg^+$
The couple $SO_4^{2-} - Mg^+$

7.10. Le couples $SO_4 - Na$:
fig. 13.

Le graphe montre une tendance à l'alignement des points, cependant quelques uns montrent un excès en sulfates ou en sodium. Ce qui est important ici c'est que pendant que le magnésium diminue comme indiqué précédemment, et autour de la même valeur en sulfates (28 meq/l) le sodium reste en évolution avec ces derniers et remplace le magnésium (échange de base).

8. ÉCHANGE DE BASE (I.E.B) ET
MINÉRAUX À L'ORIGINE DE LA
SALINITÉ DES EAUX

87% des eaux de la région étudiée présentent un indice d'échange de base positif allant de 2.10^{-3} à $4.21. 10^{-1}$ (Brinis, 2003). On peut donc confirmer que les eaux sulfatées sodiques sont le résultat d'un échange de base qui s'effectue entre le sodium et le magnésium à partir des eaux sulfatées magnésiennes.

Le degré de saturation d'une eau peut être estimé par le calcul de l'indice de saturation (SI).

Cet indice atteint la valeur zéro quand la solution est en équilibre avec une phase solide. Un indice de saturation positif indique une sursaturation et un indice négatif une sous saturation vis-à-vis des minéraux.

L'interprétation thermodynamique en utilisant la simulation de la concentration des ions majeurs (Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Ca^+ , Na^+ , Mg^{2+} , K^+) sous l'effet de l'évaporation isotherme (25 °C) par le logiciel thermodynamique «*Phreeqci 2.8*», en termes d'équilibre sels/solution, a permis la détermination de l'influence des minéraux évaporitiques dans la composition chimique des eaux. Ces miné-

raux qui sont en réalité des sels, sont à l'origine de la salinité des eaux de la région. L'indice de saturation montre que les eaux de la région sont sous-saturées vis-à-vis du **gypse** (-1,09), de l'**anhydrite** (-6,6) et de la **halite** (-6,29); ce qui provoque une dissolution continue entraînant un enrichissement des eaux par les éléments de ces minéraux. On constate, par ailleurs, que les minéraux carbonatés se trouvent sursaturés et tendent à se précipiter notamment sous forme de dolomite et de magnésite.

9. SYNTHÈSE DE LA RÉPARTITION SPATIALE DU CHIMISME DES EAUX : fig. 14

La carte de synthèse de l'évolution des éléments chimiques dans l'espace nous permet de délimiter trois zones :

- une première zone présente un faciès chloruré sodique et se localise au nord au contact du diapir de sel (Trias) (localité El-Outaya et la ferme A. Driss) et à l'ouest, ces eaux indiquent l'influence de la halite.

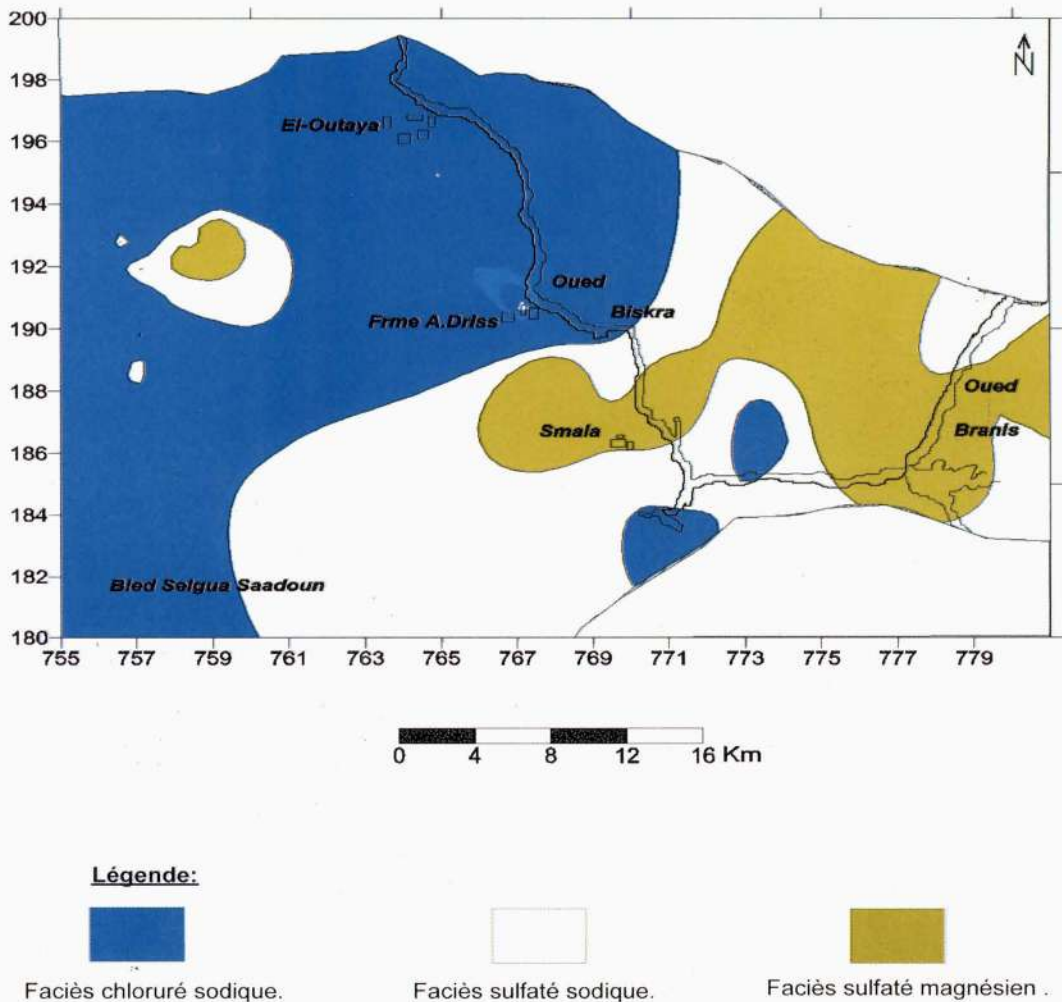


Fig. 14 - Carte de la répartition spatiale du chimisme des eaux
Map of water chimism distribution

LA SALINITÉ DES EAUX SOUTERRAINES DE LA ZONE EST DE LA PLAINE D'EL OUTAYA
(RÉGION DE BISKRA, ALGÉRIE)

- une deuxième zone située à l'est (région de Branis) de faible extension, caractérisée par des eaux sulfatées magnésiennes montrant l'influence du gypse (sulfates de calcium et de magnésium).

- une troisième zone présente des eaux mixtes localisées entre les deux autres zones. Elle est caractérisée par des eaux sulfatées sodiques. Elle est le résultat d'un échange de base entre le sodium et le magnésium.

10. CONCLUSION

L'étude hydrochimique des eaux de la partie est de la plaine d'El-Outaya (zone aride) montre une salinité assez élevée des eaux .

L'origine de cette salinité est liée à deux facteurs essentiels :

- la dissolution des roches évaporitiques du Mio-Plio-Quaternaire;

- le diapir de sel (la halite) qui se trouve au nord de la région.

La manière selon laquelle évoluent les éléments chimiques dans l'eau lors de leur parcours souterrain détermine deux faciès dominants (chloruré et sulfaté).

L'existence du phénomène d'échange de base a été mise en évidence par la répartition spatiale des eaux sulfatées sodiques. Ce faciès est le résultat d'une diminution du magnésium et l'augmentation du sodium avec successivement la précipitation des carbonates de calcium puis les sulfates, aboutissant ainsi aux chlorures.

Par ailleurs, l'interprétation thermodynamique montre que les minéraux évaporitiques présentent un état de sous-saturation malgré leur présence dans l'eau en fortes concentrations. Cet état se traduit par une dissolution continue entraî-

nant un enrichissement des eaux par les éléments chimiques de ces minéraux.

BIBLIOGRAPHIE

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, Univ.Badji Mokhtar Annaba*, 150p.

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'Uni. Mentouri*.

DEBIECHE, T.H. 2002. Evolution de la qualité des eaux (salinité, azote et métaux lourds) sous l'effet de la pollution saline, agricole et industrielle. Application à la basse plaine de la Seybouse Nord-Est algérien. *Thèse de docteur de l'université de Franche-Comté*.

DEM RH, 1980. Notice explicative de la carte hydrogéologique de Biskra. *Rapp. Int. D.E.M.R.H / Minis. Hydrau. Alger* , 51p. +1carte.

GUIRAUD, R. 1973. 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. *Thèse Sci. Univ. Nice*, 270 p.

LAFITTE, R. 1939. Etude géologique de l'Aurès. *Bull. Serv. Géol. Carte géologique, Algérie*, 2^{ème} série descript. Région n° 15, 479p.

SCHOELLER, H. 1962. Les eaux souterraines: Géochimie, eaux du gypse et des terrains salifères *Masson et Cie édition, Paris IV*, p. 362.

SONAREM, 1974. Mise en valeur du gisement de sel d'El-Outaya. *Rapport géologique et hydrogéologique*.