



LE RAPPORT Sr/Ca, UN BON INDICATEUR DE L'ORIGINE DE LA SALINITE DES EAUX : CAS DES NAPPES D'EL MALABIOD, TEBBESSA ET AL AOUNET (SOUS BASSIN DE L'OUED MELLAGUE- EST ALGERIEN)

THE Sr /Ca RATIO, A GOOD INDICATOR OF THE ORIGIN OF WATER SALINITY: THE CASE OF THE TABLES OF EL MALABIOD, TEBBESSA AND AL AOUNET (UNDER THE BASIN OF THE OUED MELLAGUE- EASTERN ALGERIAN)

ABDESLAM I.¹, DJABRI L.², FEHDI C.¹, BOUHSINA S.³

¹Laboratoire Eau et Environnement, Département des sciences de la Terre et de l'univers, Université de Tébessa,

²Laboratoire Ressources en Eau et Développement Durable, Université d'Annaba.

³Unité de Chimie Environnementale et Interactions sur le Vivant (UCEIV) EA 4492, Maison de la Recherche en Environnement Industriel, Université du Littoral Côte d'Opale, Dunkerque, France.

djabri_larbi@yahoo.fr

RESUME

L'Algérie est caractérisée par un affleurement important des formations évaporitiques pouvant avoir un intérêt économique. Dans ce but, des études géologiques ont été menées montrant que l'Algérie occupe le troisième rang mondial en ce qui concerne les réserves en Gypse. Cependant, en contact avec l'eau, les formations d'évaporites (gypses, halites) entraînent un accroissement de la salinité des eaux souterraines rendant leur utilisation limitée. La région étudiée se caractérise par des affleurements importants de formations gypsifères pouvant conduire à la salinité observée. Pour mettre en évidence le probable lien entre la salinité et les formations à l'affleurement, nous avons utilisé le rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} , ainsi que la lixiviation. Le rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} , montre des valeurs dépassant le seuil de 3 ‰, ce qui laisse supposer une influence directe des formations gypsifères sur la salinité des eaux. Cette influence est corroborée

par la lixiviation réalisée selon le protocole suivant : prélèvement des sédiments de sol appartenant aux trois zones ciblées ; ces derniers ont été déposés dans de l'eau déminéralisée. Nous avons effectué cinq analyses des lixiviats, la première effectuée après 24 heures de contact de la roche avec l'eau, la seconde après 48 heures, la troisième après 7 jours, la quatrième après 30 jours et la dernière après 90 jours de contact. Les analyses effectuées sur les lixiviats montrent dans leur globalité, un accroissement de la valeur du rapport Sr^{2+} / Ca^{2+} , particulièrement pour les points El Aouinet (N°4), El Ma Labiod plaine Cimenterie, Djebissa (N° 9) situé en extrémité de la plaine de Tébessa. Les concentrations qui ne dépassaient pas la valeur seuil de 3 ‰, au début, acquièrent des valeurs dépassant 3 ‰, s'expliquant par la dissolution des formations évaporitiques au niveau des différentes périodes d'analyses (24heures, 48 heures, 30 jours et 3 mois). L'analyse spatio-temporelle effectuée montre que la dissolution des formations évaporitiques ne s'opère pas de la même manière au niveau des zones cibles. Ainsi, nous remarquons que les régions de Djebissa et d'El Ma Labiod montrent une relation de cause à effet entre la minéralisation et la dissolution. Par contre, la région d'El Aouinet montre une évolution variable et limitée dans le temps. Ces tendances sont générées par les positions des formations évaporitiques vis-à-vis des nappes d'eau. En effet, à Tébessa et El Ma Labiod, le Trias se situe en amont, influençant ainsi le chimisme des eaux. A El Aouinet, le Trias affleure de manière éparse, expliquant ainsi les valeurs obtenues.

Mots clés : Salinité, Trias, formations gypsifères, Tébessa, Algérie.

ABSTRACT

Algeria is characterized by an important outcrop of evaporite formations that may be of economic interest. For this purpose geological studies have been conducted showing that Algeria ranks third in the world in terms of Gypsum reserves. However, in contact with water, the evaporite formations (gypsum, halite) cause an increase in the salinity of the groundwater making their use limited. The study area is characterized by large outcrops of gypsiferous formations that can lead to the observed salinity. To highlight the probable link between salinity and outcrop formations, we used the Sr^{2+} / Ca^{2+} ratio, as well as Leaching. The ratio Sr^{2+} / Ca^{2+} shows values exceeding the threshold of 3‰, which suggests a direct influence of the gypsiferous formations on the salinity of the waters. This influence is corroborated by the leaching carried out according to the following protocol: drawing of soil sediments belonging to the three targeted zones, these were deposited in demineralized water, we carried

Le rapport Sr/Ca, un bon indicateur de l'origine de la salinité des eaux : cas des nappes d'El Malabiod, Tebessa et Al Aouinet (sous bassin de l'oued Mellague

out five leachings, distributed as follows: 24 hours, 48 hours, 7 days, 30 days and 90 days. The analyzes carried out on the leachates show after 24h and 90 days of reaction, an increase in the value of the ratio $\text{Sr } 2^+ / \text{Ca } 2^+$, especially for the points, El Aouinet 4, El Ma Labiod plain Cement, Djebissa 9, whose values did not exceed the threshold value of 3 ‰, in the beginning, acquire values exceeding 3‰, thus highlighting the salt contribution by dissolving the evaporite formations 24 hours, 48 hours, 30 days and 3 months. The spatio temporal analysis carried out that the three zones studied does not react in the same way. In this respect, the regions of Djebissa and El Ma Labiod, show a cause-and-effect relationship between mineralization and dissolution, while the El Aouinet region shows a variable evolution that is limited in time. These trends are generated by the positions of the evaporitic formations vis-à-vis the water bodies. Indeed in Tebessa and El Ma Labiod, the Triassic is upstream and therefore influences the chemical composition of the waters. In El Aouinet, on the other hand, the outcrop of the Triassic is scattered, thus explaining the values obtained.

Keywords: Salinity, Trias, gypsiferous formations, Tébessa, Algeria.

INTRODUCTION

Le terme « évaporites » désigne un ensemble de dépôts riches en chlorures et sulfates alcalins (avec les ions K^+ , Na^+ , Mg^{2+} , Cl^- et SO_4^{2-}). L'Algérie est caractérisée par un affleurement important des formations évaporitiques pouvant avoir un intérêt économique. Dans ce but, des études géologiques ont été menées montrant que l'Algérie occupe le troisième rang mondial en ce qui concerne les réserves en Gypse. Le contact avec l'eau, les formations d'évaporites (gypses, halites) entraînent un accroissement de la salinité des eaux souterraines rendant leur utilisation limitée. De nombreux chercheurs se sont intéressés au problème afin d'identifier les causes systémiques. Plusieurs travaux scientifiques ont été menés dans le bassin Méditerranéen. Au Maroc, Hsissou et al. (1997) ont mis en évidence l'influence des faciès évaporitiques sur la salinité de la nappe côtière d'Agadir ; El Achheb (2003) a utilisé les traceurs hydro-géochimiques dans le bassin du Sahel Doukkala pour déterminer l'acquisition de la minéralisation des eaux souterraines. En Tunisie, Trabelsi (2006) a traité de la salinisation des nappes côtières : cas du Sahel de Sfax en utilisant l'outil hydrochimique pour déterminer les origines de la salinisation des eaux de la nappe étudiée. En Algérie, Djabri (1987) a mis en évidence une salinité des eaux de la nappe alluviale de Tébessa dont les origines seraient

probablement géologiques. Les travaux réalisés par Rouabhia, (2005) et Fehdi (2008), respectivement à El Ma labiod et El Aouinet, montrent une salinité des eaux générée par les formations évaporitiques affleurantes. L'ensemble des travaux consultés et les résultats obtenus apportent un plus à la connaissance des origines de la minéralisation des eaux souterraines. Le présent travail nous permettra d'identifier les zones à forte salinité, ce qui facilitera la réalisation de projet économique.

REGION D'ETUDE

La zone étudiée (fig.1) est située dans l'Extrême Est de l'Algérie aux portes du désert, à environ 260 km au Sud d'Annaba sur la côte méditerranéenne. La région est limitée au Sud par la wilaya d'El Oued, à l'Ouest par celle de Constantine et à l'Est par la Tunisie.

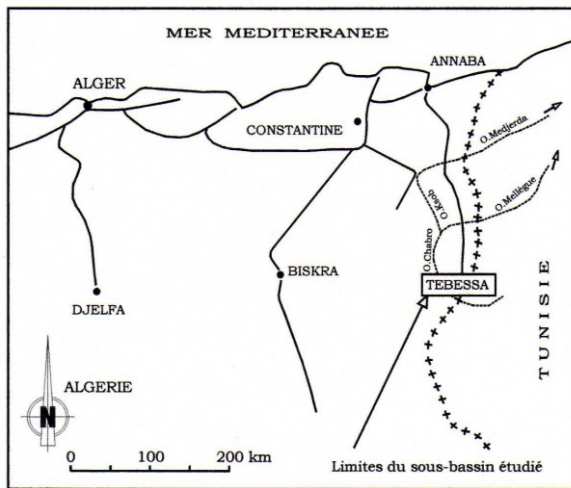


Figure 1 : Situation géographique de la zone étudiée

CARACTERISTIQUES GEOLOGIQUES

Cette région se caractérise par l'affleurement de formations triasiques qui constituent les terrains les plus anciens de la région. Les pointements triasiques ont depuis toujours fait l'objet d'une attention particulière, en raison de leur importance pour l'exploration des champs miniers et pétroliers. En Algérie nord orientale et en Tunisie, les nombreux diapirs triasiques évaporitiques sont sans

Le rapport Sr/Ca, un bon indicateur de l'origine de la salinité des eaux : cas des nappes d'El Malabiod, Tebessa et Al Aouinet (sous bassin de l'oued Mellague

sel affleurant. Toutefois, la présence du sel est souvent confirmée en profondeur. Dans la région de Tébessa, le Trias affleure sous forme d'extrusions et occupe généralement le cœur des structures anticlinales. Les affleurements les plus importants sont ceux de Djebissa, Ouenza, Boukhadra, Mesloula, Boujaber, Hameimat nord, Hameimat sud et El Ma Labiod. A l'échelle de l'affleurement, le Trias forme un ensemble chaotique non structuré. Ceci laisse supposer que les nappes d'eau sont sujettes à une salinisation provoquée par ces formations.

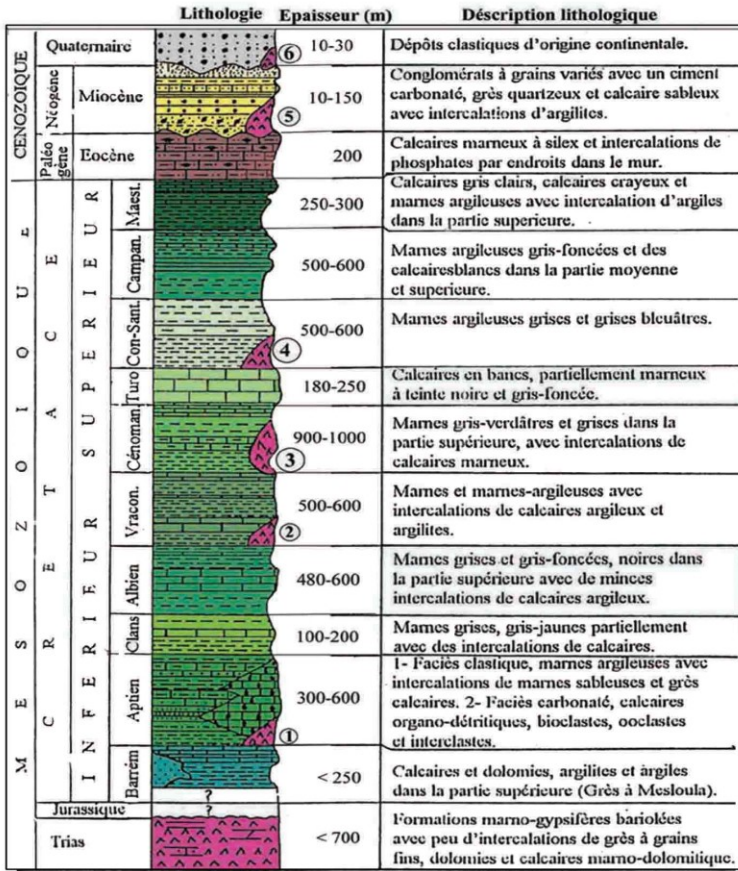


Figure 2 : Colonne Stratigraphique des formations à l'affleurement (In Fehdi, 2008)

Le quaternaire affleurant au centre des plaines, est constitué de dépôts, ces derniers distribués dans les parties basses des reliefs et couvrent des surfaces importantes (plaines et vallées actuelles). Ils sont formés de croûtes calcaires,

limons éboulis, cailloutis de gypse et poudingues. Ce matériel est remanié et est transporté par l'action éolienne et hydrique. Le Quaternaire, d'origine continentale, est d'une puissance de 10 à 30 m.

MATERIEL ET METHODE

Afin de déterminer l'origine de la salinité et son évolution dans l'espace, nous avons utilisé les outils suivants : la piézométrie, l'hydrochimie et la lixiviation. Les campagnes utilisées se rapportent aux secteurs géographiques suivants :

- **Tébessa** : avec 73 échantillons analysés et deux campagnes de mesures piézométriques (Avril et Septembre 2002).
- **El Aouinet** : avec 60 échantillons se rapportant à deux mois différents (Mars et octobre 2004).
- **El Ma Labiod** : avec deux campagnes de mesure piézométrique portant chacune sur 50 puits nivelés. Les analyses chimiques se sont déroulées aux mêmes périodes (Février et Octobre 2004).
- **Paramètres déterminés** : sont mesurés la conductivité électrique, pH, T(°C), Salinité, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, Cl⁻, HCO₃⁻, et SO₄⁻².

RESULTATS ET DISCUSSION

Indications piézométriques

Carte piézométrique de la nappe de Tébessa, Juillet 2006

L'observation de la carte (fig.3) montre une surface piézométrique irrégulière avec un écoulement de direction sud-est nord-ouest. Trois secteurs sont identifiés :

- A l'Est, dans le secteur de Bekkaria, l'espacement des courbes est régulier, avec des lignes de courant de direction est-ouest. L'alimentation de cette zone se fait par les bordures de la plaine.
- Au niveau de la zone de Tébessa, la morphologie des courbes est assez régulière, c'est probablement lié à l'influence du pompage sur les puits et les forages. On remarque une alimentation de la nappe par les apports des bordures.

Le rapport Sr/Ca, un bon indicateur de l'origine de la salinité des eaux : cas des nappes d'El Malabiod, Tebbessa et Al Aouinet (sous bassin de l'oued Mellague

- La région d'Ain Chabro située à l'Ouest, caractérisée par une dépression de la surface piézométrique, reflétant une zone de drainage due aux pompages.

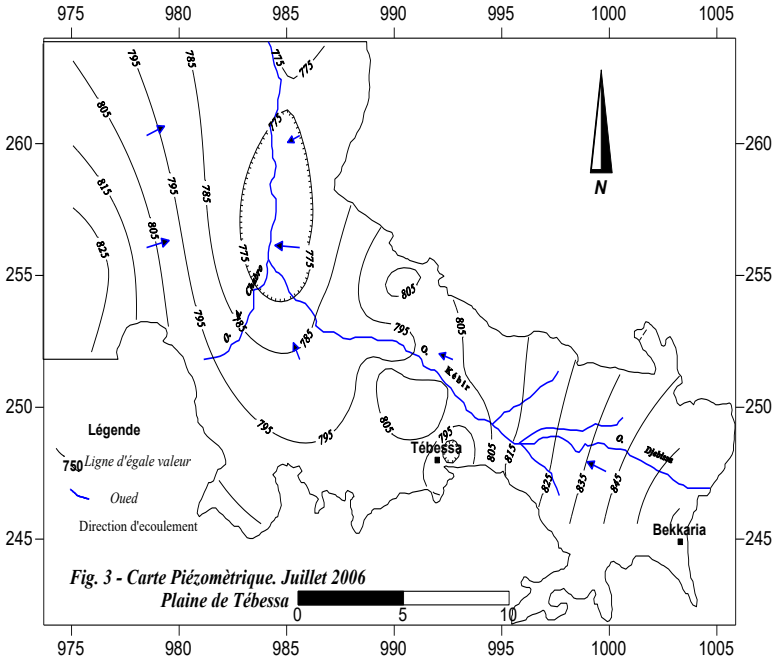


Figure 3 : Carte piézométrique de la nappe de Tebbessa, juillet 2006

Eléments chimiques intervenant dans l'acquisition de la salinité

Indications sur les faciès chimiques

Région de Tebbessa : L'observation du tableau N°1 montre un changement des faciès entre les deux périodes considérées. Au cours de la période du mois d'avril, le faciès bicarbonaté calcique domine avec (32%), par contre au cours de la seconde période septembre 2002, on a une domination du faciès sulfaté sodique (35%) des échantillons. Ce changement s'explique par les apports latéraux qui s'opèrent au cours de la période pluvieuse, c'est-à-dire au mois d'avril. Par contre, au mois de septembre, les premières pluies n'entraînent pas la dissolution des formations gypsifères sur la qualité des eaux. D'où le faciès sulfaté.

Tableau 1 : Variations des faciès chimiques entre les deux périodes considérées. Tébessa.

Faciès Chimique Période	BC	BM	BS	SC	SM	SS	CS	CC
Avril 2002	32%	9%	9%	14 %	9%	9%	13%	0%
Septembre 2002	13%	0%	0%	35%	10%	16%	13%	12%

Légende : Bicarbonaté calcique (BC), Bicarbonaté magnésien (BM), Bicarbonaté sodique (BS), Sulfaté calcique (SC), Sulfaté magnésien (SM), Sulfaté Sodique (SS), Chloruré sodique (CS) et Chloruré calcique (CC).

Région d'El Ma Labiod: Les faciès chimiques déterminés sont reportés dans le tableau 2.

On assiste à une variation des faciès chimiques, particulièrement le sulfaté calcique et le bicarbonaté calcique. Il y a un effet piston entre les deux. Ceci met en évidence l'influence directe de la géologie locale.

Tableau 2 : Variations des faciès chimiques entre les deux périodes considérées. El Ma Labiod

Faciès Chimique Période	BC	SC	SM	SS	CS	CC
Février 2004	13 %	5 %	9 %	9%	10%	60 %
Octobre 2005	5 %	25 %	10%	16 %	10%	45 %

Région d'El Aouinet : Les eaux analysées montrent les faciès chimiques suivants :

Tableau 3 : Variations des faciès chimiques entre les deux périodes considérées.

Faciès chimique Période	SC	CS	CC
Mars 2004	30 %	50%	20 %
Octobre 2005	40 %	50%	10 %

Cette région se caractérise par une variation entre les trois faciès dominants. Au niveau de cette région, le faciès bicarbonaté est absent, indiquant une influence insignifiante, des formations calcaires sur la qualité des eaux.

Le rapport Sr/Ca, un bon indicateur de l'origine de la salinité des eaux : cas des nappes d'El Malabiod, Tebessa et Al Aouinet (sous bassin de l'oued Mellague

Origines de la salinité des eaux

Les variations du rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} et son impact sur la salinité des eaux

Région de Tébessa : L'examen des valeurs obtenues montre que le rapport Sr/Ca varie entre 0,8‰ et 28‰. Nous avons pu dégager trois groupes :

- Groupe A ($Sr/Ca < 2‰$) : avec 3 échantillons, soit 9,4%.
- Groupe B ($2‰ < Sr/Ca < 3‰$) : avec 4 échantillons, soit 12,5 %.
- Groupe C ($Sr/Ca > 3‰$) : avec 25 échantillons, soit 78,1%

On note que 78,1 % des échantillons présentent un rapport $Sr^{2+}/Ca^{2+} > 3‰$ montrant l'influence des formations évaporitiques sur la qualité des eaux souterraines (fig.4).

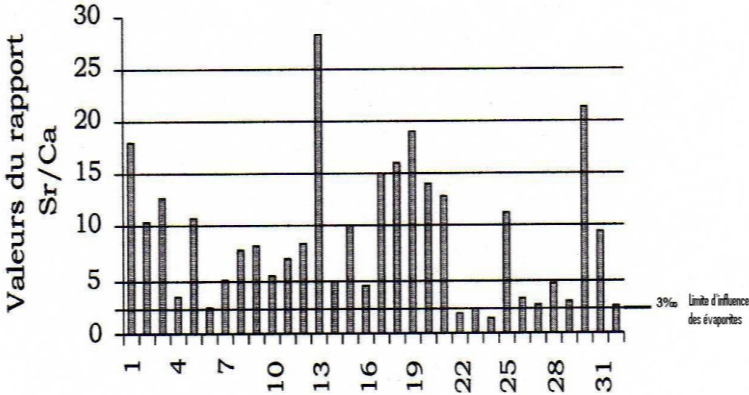


Figure 4 : Variations du rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} , plaine de Tébessa.

La carte (Fig. 5), montre que les plus faibles valeurs du rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} inférieures à 3‰, caractérisent les eaux en provenance des bordures Nord et Sud. Au centre de la plaine, on retrouve les rapports les plus élevés, mettant en évidence une salinité des eaux, particulièrement riches en sulfates issus du gypse.

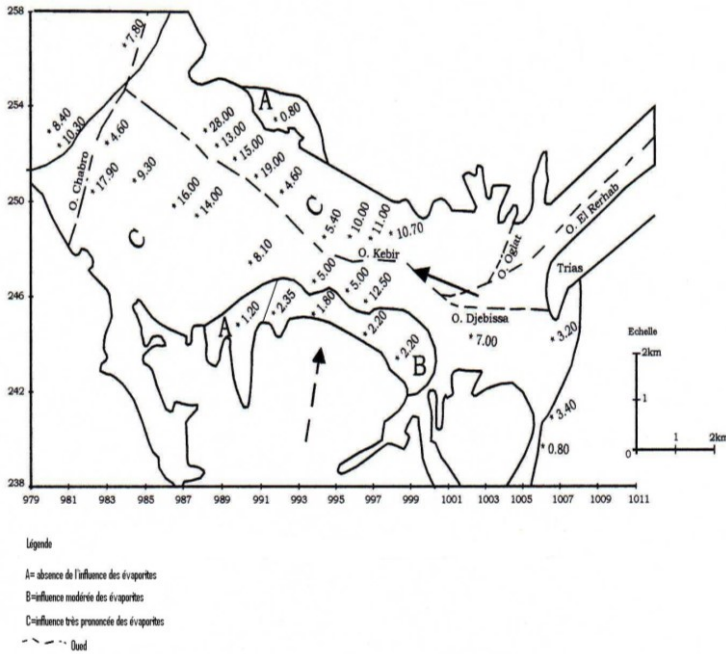


Figure 5 : Carte de répartition des rapports Sr^{2+}/Ca^{2+}

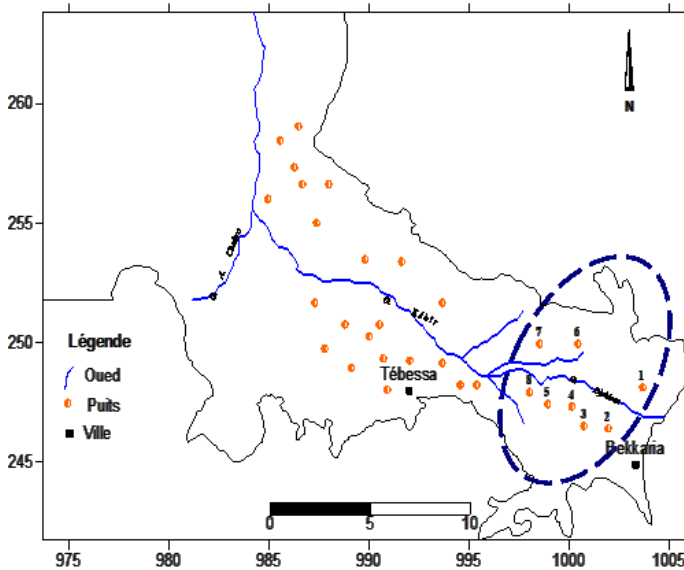


Figure 6 : Position des puits analysés par rapport au Djebel Djebissa (2006).

Le rapport Sr/Ca, un bon indicateur de l'origine de la salinité des eaux : cas des nappes d'El Malabiod, Tebessa et Al Aouinet (sous bassin de l'oued Mellague

Impact des formations gypsifères de Djebel Djebissa sur la salinité des eaux

Au niveau du djebel Djebissa, affleure le Trias gypsifère, la cartographie piézométrique, a montré que l'écoulement, se fait de ce djebel vers la plaine, ce qui engendre une contamination des eaux par le Trias. L'étude réalisée sur deux puits témoins, confirme cette relation (fig.6).

Evolution du rapport Sr^{2+}/Ca^{2+}

Les graphes du rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} des puits 1 et 8 (fig.7 a et b), montrent des valeurs très élevées, supérieurs à 3‰, montrant une influence franche des formations évaporitiques, ce qui laisse supposer que le djebel Djebissa (diapir), influence directement la salinité des eaux.

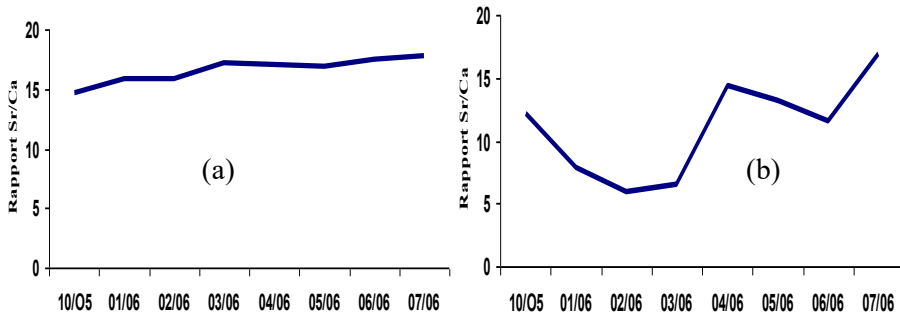


Figure 7(a & b) : Variations du rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} au niveau des puits extrêmes (P1 & P8).

Région d'El Ma Labiod : A partir des concentrations déterminées, nous avons calculé le rapport Sr^{2+}/Ca^{2+} , ce qui nous permettra de mettre en évidence une éventuelle contamination des eaux par les formations évaporitiques. Les valeurs des rapports Sr^{2+}/Ca^{2+} , oscillent entre 0.7 et 4.04 ‰ au cours de la première période et entre 1.5 et 5.83‰ au cours de la seconde période. Cette variation indique que la salinité des eaux reste tributaire de plusieurs facteurs, dont les formations évaporitiques.

Région d'El Aouinet : L'esquisse de la carte géologique, a montré que la région, se caractérise par l'affleurement des formations triasiques, de manière hétérogène. Ceci laisse supposer une contamination des eaux par ces formations. Les résultats obtenus, présentent un rapport dont la valeur reste souvent supérieure à l'unité mais dépassant rarement la valeur seuil de 3 ‰, ce

qui laisse supposer une faible influence des formations évaporitiques. Ceci nous permet de dire que la salinité serait également due à l'influence de l'halite, expliquant ainsi la domination du faciès chloruré sodique.

Mise en évidence d'un apport de sels minéraux par dissolution des évaporites

Apport par le phénomène de la lixiviation

La chimie du strontium est similaire à celle du calcium. Le strontium est un élément assez commun remplaçant le calcium ou le potassium dans les minéraux des roches ignées. Le carbonate (strontianite, SrCO_3) et le sulfate (célestite, SrSO_4) sont communs dans les sédiments (HEM, 1985). La célestite accompagne généralement les formations évaporitiques et se dissout selon la relation suivante :



Dans un aquifère superficiel, les concentrations du strontium sont principalement gouvernées par la réaction des minéraux carbonatés et sulfatés. La concentration du strontium dans l'eau des aquifères étudiés varie entre 0.38 et 9.60 mg/l.

Protocole réalisé : Nous avons prélevé des sédiments de sol appartenant aux trois zones ciblées, ces derniers ont été déposés dans de l'eau déminéralisée, nous avons effectué cinq lixiviations. Les analyses ont été réalisées à Besançon.

Variations spatio-temporelles des rapports $\text{Sr}^{2+} / \text{Ca}^{2+}$

Les variations des rapports au niveau de trois zones de prélèvements permettent de constater l'influence de la dissolution des roches sédimentaires au niveau de chaque site.

Djebel Djebissa : trois échantillons de sol ont été prélevés. Nous prenons, en considération l'échantillon Djebissa 4, car le plus proche de la plaine. L'observation du graphe figure 8, montre une tendance à l'accroissement de la valeur du rapport à partir du 7^{ème} jour de dépôt dans l'eau. Ceci démontre, que la dissolution est continue et par conséquent, il y a sous saturation vis-à-vis du gypse pendant 3 mois.

Le rapport Sr/Ca, un bon indicateur de l'origine de la salinité des eaux : cas des nappes d'El Malabiod, Tebessa et Al Aouinet (sous bassin de l'oued Mellague

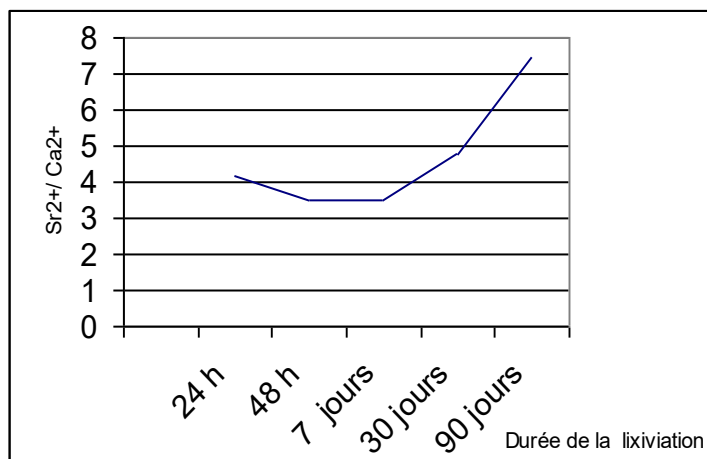


Figure 8 : Variation du rapport Sr²⁺/Ca²⁺ dans les lixiviats de Djebissa

CONCLUSION

Les résultats des analyses des eaux de lixiviation montrent que les trois zones étudiées ne réagissent pas de la même manière. A ce titre, les régions de Djebissa et d'El Ma Labiod, montrent une relation de cause à effet entre la minéralisation et la dissolution. Par contre, la région d'El Aouinet montre une évolution variable et limitée dans le temps. Ces tendances sont générées par les positions des formations évaporitiques vis-à-vis des nappes d'eau. En effet, à Tébéssa et El Ma Labiod, le Trias se situe en amont et donc influence la composition chimique des eaux. A El Aouinet par contre, l'affleurement du Trias, se fait de manière éparse, expliquant ainsi les valeurs obtenues. Les résultats, obtenus par la lixiviation, sont confirmés par le traitement thermodynamique réalisé

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- BAALI F. ROUABHIA A. KHERICI N. DJABRI L. (2006). Natural chemical tracer of urban pollution: Case of Born. Example of application on the area of Algerian Cheria. Journal of Coastal Environment and Water Quality. 39-45. USA. ISBN-13:978-1-887201-47-6
- BOUCHAGOURA L. (2003). Mise en évidence de diverses pollutions dans la nappe alluviale de Tébéssa. Magister de l'Université Badji Mokhtar Annaba, 105p.

- DJABRI L., HANI A., CHAFFAI H., HABES S., DJOUAMA MC. (2015). Etude de la vulnérabilité à la pollution, un gage pour l'élaboration d'une GIRE : cas de la plaine alluviale de Tébessa. *Larhyss Journal* n° 22, juin, pp. 25-34.
- DJABRI L. (1987). Contribution à l'étude hydrogéologique de la nappe alluviale de la plaine d'effondrement de Tébessa. Essai de modélisation. Thèse de Docteur Ingénieur, Université de Franche comté -Besançon, France, 180p.
- DJABRI L., HANI A., LAOUAR R., DJORFI S., LAMOUREUX C., BOUSSAHEL R. (2007). Vulnérabilité des eaux à la pollution dans une zone à climat semi aride : Région de Tébessa (extrême Est algérien). *Bulletin des Services Géologiques Nationales*. Vol 19, N°2, pp115-133.
- FEHDI C. (2008). Apport hydrochimique et isotopique dans la caractérisation des mécanismes d'acquisition de la salinité des eaux souterraines du complexe aquifère Morsott El Aouinet. Thèse de Doctorat ès sciences. Université Badji Mokhtar Annaba, 190p.
- HSISSOU Y. ET aL. (1995). Caractérisation des eaux de l'aquifère turonien du bassin du Tadla (Maroc) par le rapport des concentrations molaires Sr^{2+}/Ca^{2+} . *Journal of Hydrology*, N° 183. pp 445-451.
- ROUABHIA A. (2006). Vulnérabilité et risques de pollution des eaux souterraines de la nappe des sables Miocène de la plaine d'El Ma Labiod (N.E. Algérien). Thèse de Doctorat ès sciences. Université Badji Mokhtar Annaba, 160p.
- SEKIOU F., KELLIL A. (2014): Caractérisation et classification empirique, graphique et statistique multivariable d'eaux de source » embouteillées de l'Algérie. *Larhyss Journal*, ISSN 1112-3680, N°20, Décembre, pp. 225-246.