

CARACTÉRISATION HYDROCHIMIQUE ET APPORT ISOTOPIQUE SUR LA SALINITÉ DU BASSIN D'EL EULMA EN RÉGION SUD-SÉTIFIENNE (ALGÉRIE NORD ORIENTALE)

Reçu le 01/12/2007– Accepté le 05/11/2009

Résumé

Située dans le bassin versant des hauts plateaux constantinois, dans le nord-est algérien, la région de Sétif est caractérisée par un climat semi-aride et des formations hétérogènes essentiellement salées. Défavorisée par ces facteurs, la nappe quaternaire du bassin d'El Eulma est contaminée par les sels minéraux des évaporites des formations triasiques et plio-quaternaires, ainsi que par l'intrusion d'eaux salines de sebkhet Bazer. À ces contraintes, s'ajoute une intense sollicitation de la modeste ressource en eaux souterraines pour l'irrigation et l'alimentation en eau potable. Les eaux de la nappe alors fortement minéralisées ont des faciès chimiques chloruré- sodique ou chloruré-calcique et sulfatée-magnésien. Les concentrations en ions majeurs dénotent des corrélations fortes entre les paires d'ions (Cl^- , SO_4^{2-}) et (Na^+ , Ca^{2+}). L'origine de cette minéralisation est non seulement en rapport avec l'altération des matériaux aquifères (dissolution des évaporites chlorurés du gypse et des carbonates), mais surtout, au plan d'eau salée notablement étendu ($14,92 \text{ km}^2$). Les isotopes lourds oxygène-18 et deutérium prouvent l'intrusion d'eaux salées de sebkhet Bazer dans l'aquifère.

Mots clés: Nappe alluviale, évaporites, salinité, intrusion d'eaux de sebkhet Bazer, El Eulma, sud-sétifien, semi-aride, intense sollicitation.

Abstract

Located in the catchment area of the high plateaus Constantine's, in the Algerian North-East, the area of Sétif is characterized by a semi-arid climate and heterogeneous formations, primarily salted. Disadvantaged by these factors, the quaternary water-plain of the basin of El Eulma is contaminated by rock salt of evaporates of Triassic, and Plio-quaternary formations, and, by the intrusion of sebkhawater of sebkhet Bazer. In addition to these constraints, the overexploitation of the modest subsoil water resource is used for the irrigation and the supply drinking water. The water-plain has strongly mineralization particularly sodic or chlorinate-calcic and sulphate-magnesian. The concentrations in major ions indicate strong correlations between the pairs of ions (Cl^- , SO_4^{2-}) and (Na^+ , Ca^{2+}). The origin of this mineralization is not only in connection with the deterioration of aquifer materials (dissolution of the chlorinated evaporates gypsum and carbonates), but especially, in the notably salted water stretch ($14,92 \text{ km}^2$). The isotopic oxygen-18 and deuterium prove the salted water intrusion of sebkhet Bazer in the aquifer.

Keywords: water-plain, evaporates, salinity, intrusion of sea water, sebkhet Bazer, El Eulma, south-sétifien, semi-arid, overexploitation.

A. DEMDOUM¹
M. DJEBBAR²

¹ Laboratoire de géologie et environnement
² Laboratoire de l'Ingénierie des procédés de l'environnement
Faculté des Sciences de la Terre, de la Géographie et de l'Aménagement du territoire.
Département des Sciences de la Terre, Université Mentouri. Constantine.

ملخص

بمقعا في حوض مرتفعات القسنطيني بشمال شرق الجزائر، تتميز منطقة سطيف بمناخ شبه جاف و مكونات غير متجانسة أساسية الملوحة. محرومة من هذه العوامل الأخيرة، فالسماط الرباعي لحوض العلما ملوث بالأحماض المعدنية للمتبخرات الترياسي و بليو-رباعي وتسرب المياه المالحة لسبخة بازر، بالإضافة إلى التماس مكثفة للموارد المياه الجوفية المتواضعة لأغراض الري ومياه الشرب. إن مياه السمامت شديدة المتمعدنة تتميز بسحنات الكيميائية مكونة من كلوريد-صوديوم أو كلوريد-الكالسيوم و صلفات المغنسيوم. أما تركيزات الأيونات الرئيسية تشير إلى ارتباطات قوية بين أزواج من الأيونات (Cl^- , SO_4^{2-}) و (Na^+ , Ca^{2+}).. منشأ هذا معدن ليست فقط ذات الصلة بتغيير المواد. طبقة المياه الجوفية (انحلال المتبخرات و الكربونات) ولكن لا سيما للوجود سطح المائي (14.92 km^2). والنظائر الثقيلة الأكسجين الأكسجين 18 والديوتيريوم تبين تسرب المياه المالحة من السبخة إلى السمامت.

الكلمات المفتاحية: الطمي- متبخرات-الملوحة-غزو المياه من سبخة بازر- العلما- شبه جاف- إلتماس مكثف

I ntroduction

La région sétifienne appartient au bassin versant des hauts plateaux constantinois. Les hauts plateaux constantinois, à climat semi-aride, reçoivent une pluviométrie très modeste, autour de 350 mm/an, marquée par des étiages s'étalant sur plusieurs semaines. Le bassin d'El Eulma (Fig.1), est drainé par l'Oued Melah, l'Oued Medjez et l'Oued Djermane, à régime temporaire et à écoulement endoréique (sous-bassin versant des hauts plateaux constantinois). Les Djebels Brao, Tnoutit, d'altitude moyenne 950-1150m, composent les reliefs s'élevant de l'ensemble de couverture mio-plio-quadernaire. Dans la partie aval du bassin se situe Sebkhât Bazer, d'une superficie d'environ 14,92 km² (Fig. 1). Cette étendue d'eau salée est alimentée par le réseau hydrographique du bassin [1], et probablement en partie par les eaux souterraines en période de hautes eaux.

Crétacé supérieur comprend des calcaires que surmontent des marnes.

Le Paléogène est à matériel détritique (marnes et argiles). La couverture mio-pliocène est composée de sédiments hétérogènes essentiellement de type continental. Le Miocène continental, comprend des conglomérats, des argiles sableuses, et des évaporites. Le Pliocène est à composition conglomératique, marneuse et argilo-sableuses à intercalations de calcaires lacustres. Ces séries se manifestent au Nord-est du bassin.

Les sédiments quadernaires sont composés d'alluvions, de formations de pente, de glaciis polygénique, ainsi que de sols à croûtes.

Cet ensemble est assez complexe étant donné qu'au travers de la couverture émergent des sources froides (14 à 18°C), hypothermales (20 à 24°C), et mésothermales (29 à 40°C). Les températures variables des émergences du bassin hydrogéologique karstique sont globalement classiques dans les hautes plaines de l'Est algérien [3].

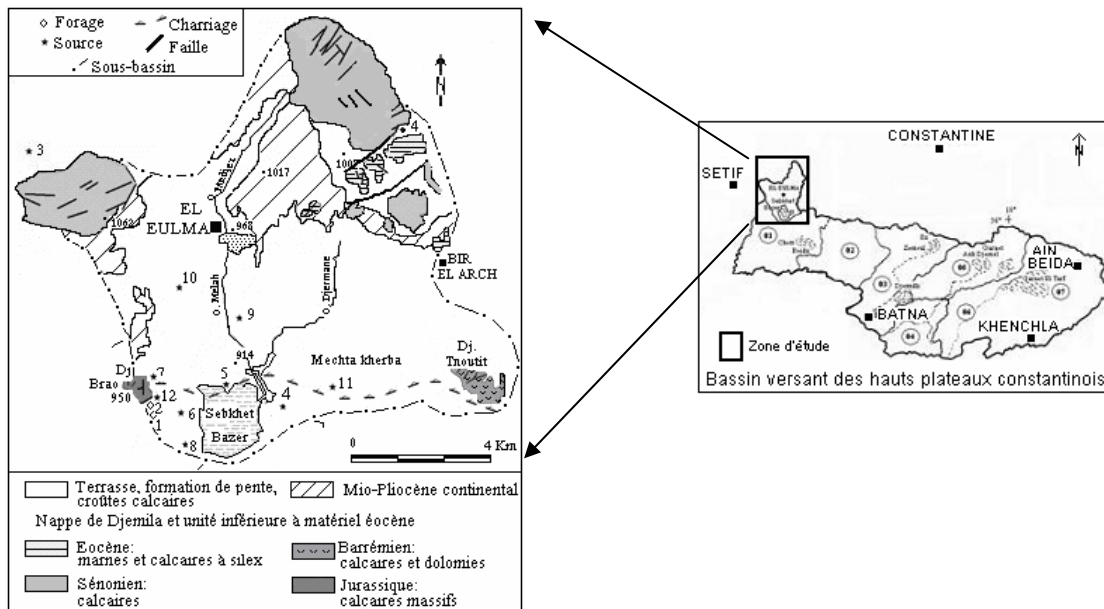


Figure 1 : Cadre géologique du bassin d'El Eulma (Carte géologique de Sétif, 1/200.000, Vila, 1977, simplifiée)

Présentation générale de la nappe alluviale

En contexte hydrogéologique, on distingue globalement un système aquifère multicouche dans les sédiments de couverture, et un aquifère thermal profond développé dans les carbonates jurassiques et crétacés.

Géologie

Le cadre géologique (Fig. 1) consiste en des séries jurassiques à paléogènes de la nappe de Djemila [2].

Le Jurassique et le Crétacé inférieur sont carbonatés. Le

Dans cette note on s'est intéressé à la nappe alluviale du fait des difficultés techniques pour l'échantillonnage au niveau des émergences issues de l'aquifère.

Le climat semi-aride impose des prises d'eau supérieures au potentiel de recharge en eau de la nappe pour les besoins en alimentation en eau potable des agglomération, et l'irrigation des cultures constituant l'une des principales ressources économiques de la région. Ainsi, la nappe de la plaine alluviale d'El Eulma subit deux contraintes : la salinisation des eaux par les sels minéraux des formations triasiques et des sols salés (retour d'eaux d'irrigation), ainsi que la migration des produits azotés des terres irriguées. De plus la facilité d'exploitation de l'aquifère superficiel, a conduit les agglomérations et les petites entreprises industrielles implantées dans cette

région, à solliciter outre mesure cette ressource. En conséquence, il ya une élévation notable de la minéralisation et une pollution par les nitrates de la modeste ressource. Cet ensemble de données nous a conduits à effectuer une étude hydrogéochimique de la nappe axée sur les sels minéraux dissous, l'intrusion du plan d'eau salée dans la nappe et le traçage des isotopes lourds, oxygène-18 et deutérium, en rapport avec l'évaporation des eaux saumâtres de sebkhet Bazer.

Matériels et méthodes

Parmi les sources, nous avons prélevé douze échantillons d'eau au niveau de deux forages et dix sources, dont une source mésothermale émergeant à proximité ouest du bassin. Le prélèvement de la source thermique vise à établir quelques caractéristiques hydrodynamiques du système aquifère par traçage géochimique.

Les paramètres physico-chimiques, pH, température et conductivité électrique, ont été mesurés in situ à l'aide d'une sonde multiparamètres (WTW). Les analyses chimiques ont été effectuées par absorption atomique à flamme pour les cations et par colorimétrie pour les anions.

La qualité chimique et les faciès des eaux sont obtenus respectivement, à partir des diagrammes Schöeller-Berkaloff et Piper.

Les rapports caractéristiques Na/Cl, Ca/SO₄, Na/Ca et SO₄/Cl en rapport avec les eaux salines et les évaporites, permettront de discerner les modes de contamination par les sels de la ressource souterraine.

Le rapport molaire Mg/Ca est caractéristique du parcours des eaux souterraines. Son évaluation permet d'obtenir des informations sur le temps de contact avec la roche carbonatée ; sa valeur traduit l'agressivité des eaux (CO₂aq). Ces paramètres influencent l'indice de saturation vis-à-vis de la calcite (ISc), de la dolomite (ISd), vis-à-vis du gypse (ISg) et par voie de conséquence l'équilibre chimique des eaux [4]. De plus, l'utilisation du géothermomètre SIO₂ [5 et 6] apportera des précisions sur le mélange d'eaux thermales dans la nappe.

L'expression de la formule étant :

$$T(K^{\circ}) = 1000 a/b + \text{Log}(SIO_2)$$

Dans les bassins endoréiques en zone climatique semi-aride et aride, l'utilisation des teneurs en isotopes lourds oxygène-18 et deutérium ($\delta 18O$) et ($\delta 2H$) exprimées en S.M.O.W, confrontées à la droite mondiale météorique, sont de puissants informateurs sur le processus d'évaporation d'eau [7 et 8]. La covariation des teneurs en $\delta 2H$ différentes des teneurs en $\delta 18O$ suit une régression définie par l'équation [4] : $\delta 2H = 8 \delta 18O + d$. La pente de la droite caractérise le phénomène de condensation produit à l'équilibre et (d) l'excès en deutérium $\geq + 10$ lorsque les précipitations sont d'origine océanique [9]. Les teneurs en oxygène-18 et en deutérium du bassin d'El Eulma ont été analysées au laboratoire d'hydrologie isotopique à Turin (Italie) au spectrophotomètre de masse. Le procédé [8] fournit une précision de 2 ‰ pour $\delta 2H$ (devant les variations naturelles 0-150 ‰) et de 0.2 ‰ pour $\delta 18O$ (devant les variations naturelles 0-25 ‰).

Résultats et discussion

Les caractéristiques lithologiques du réservoir mio-plio-quaternaire sont assez complexes du fait de leur hétérogénéité et de la structuration des formations jurassico-crétacées et de leur couverture. Ces caractéristiques physiques ont une influence sur les modalités d'écoulement des eaux.

La géométrie du bassin hydrogéologique confère à la formation de couverture le rôle de relais hydraulique : celui de mise à jour de la décharge de l'aquifère thermal profond, et d'infiltration d'eau de recharge.

Hydrogéochimie

Paramètres physiques

Excepté la source 3 (29 °C), la température des prélèvements d'eau varient entre 14 et 18°C. Les valeurs de pH fluctuent entre 7,1 et 7,9, avec de très faibles variations entre les points d'eau (Tabl.1). Nous savons que dans les régions arides et semi-arides, la teneur en sels dissous est en raison de la pluviométrie saisonnière et des périodes d'étiage. Les minéraux facilement solubles étant dans l'ordre décroissant, l'halite, l'anhydrite, la calcite et/ou dolomite et la silice.

Ainsi, le taux de concentrations totales de matières dissoutes (TDS) exprimées en milligrammes par litre [mg/l] et la conductivité électrique, exprimée en millisiemens par cm (mS/cm), sont directement liées aux formations traversées dans le bassin hydrogéologique.

Nom	Libellés	T° C	pH	CE [mS/cm]	TDS [mg/l]
Forage 1	1	16	7,4	1719	1065
Forage 2	2	16	7,3	1200	789
Source 3	3	29	7,8	1111	759
Source 4	4	18	7,9	2102	1485
Source 5	5	15	7,1	3218	2411
Source 6	6	14	7,2	3796	2212
Source 7	7	17	7,3	2695	1488
Source 8	8	14	7,3	1769	1040
Source 9	9	16	7,2	2194	1432
Source 10	10	18	7,1	2875	2183
Source 11	11	15	7,2	1146	685
Source 12	12	14	7,6	1841	1096

Tableau 1 : Paramètres physico-chimiques des prélèvements d'eau

La conductivité électrique est faible pour les sources 3 et 11, et élevée pour le reste des eaux.

À l'exception des échantillons d'eau du forage 2 et des sources 3 et 11, les concentrations de matières dissoutes du reste des prélèvements d'eau sont en relation avec les eaux saumâtres (Tabl.1). Les sources 4 à 7 ainsi que 9 et 10, caractérisées par des eaux très dures (supérieures à 50°f), indiquent une origine essentiellement évaporitique ; notons qu'une faible part des concentrations en Ca provient des eaux superficielles ayant collecté des eaux de percolation dans les massifs.

Paramètres chimiques

Les teneurs en Ca+Mg, Na+K, HCO₃ + CO₃²⁻ et Cl+SO₄ (Tabl. 2) montrent que le principal radical acide est le bicarbonate pour le forage 2, les sources 3,11, et les chlorures pour toutes les autres eaux. Le principal radical basique est le calcium pour les sources 3, 4 et 11 et le sodium pour 75% des autres prélèvements d’eaux.

Libellés	Ca ²⁺ mg/l	Mg ²⁺ mg/l	Na ⁺ mg/l	K ⁺ mg/l	Cl ⁻ mg/l	SO ₄ ²⁻ mg/l	HCO ₃ ⁻ mg/l	NO ₃ ⁻ mg/l	Dureté [°THf]
1	66,0	32,0	220,0	19,8	322,1	102,0	293	10,0	30
2	59,4	29,8	131,8	11,8	172,5	129,6	221	13,0	27
3	83,11	27,0	77,9	4,0	160,0	128,0	270	9,0	32
4	80,0	175,0	106,3	6,0	296,0	485,0	288	48,4	92
5	195,5	70,0	419,5	11,9	335,6	1090,1	260	160,6	78
6	98,6	139,1	450,2	3,5	891,5	264,4	242	246,0	82
7	99,6	125,2	267,2	9,0	588,9	187,1	418	5,8	76
8	92,4	45,0	197,2	1,6	272,4	244,9	227	75,0	42
9	182,5	69,3	145,9	11,1	335,3	424,9	191	168,6	74
10	199,7	195,1	147,5	10,7	337,5	987,1	190	212,0	130
11	125,5	20,9	25,8	9,9	180,9	131,1	108	156,0	40
12	111,5	51,1	151,8	2,2	316,1	205,6	199	159,7	49

Tableau 2 : Chimisme des prélèvements d’eaux de la nappe alluviale d’El Eulma.

Méthodes graphiques de représentation et interprétation

Pour l’interprétation du chimisme des eaux, nous avons utilisé le diagramme Piper et Schöeller - Berkaloff.

Le diagramme triangulaire Piper donne les faciès chimiques des eaux à partir des quantités en réaction exprimées en pourcent (Fig. 2).

La représentation des teneurs en ions majeurs sur le diagramme de Piper permet de distinguer trois groupes d’eaux.

Les eaux des sources 5, 6, 8 et celles des deux forages sont chlorurées- sodiques. Le faciès chloruré-sodique des eaux de forages 1 et 2, implantés au pied du massif Brao indiquent un contact important avec les évaporites du Trias, non visibles à l’affleurement, mais jalonnant les failles bordières au massif. Par ailleurs, les sources considérées appartiennent à ce groupe d’eau, du fait de leur proximité de la sebkha.

Le faciès des eaux des sources 3,7 et 12 est chloruré-calcique. Cette caractéristique chimique laisse présumer d’une mise en solution des évaporites contenues dans la roche réservoir (l’halite étant un minéral prépondérant dans les évaporites), ou d’un retour d’eau des sols irrigués.

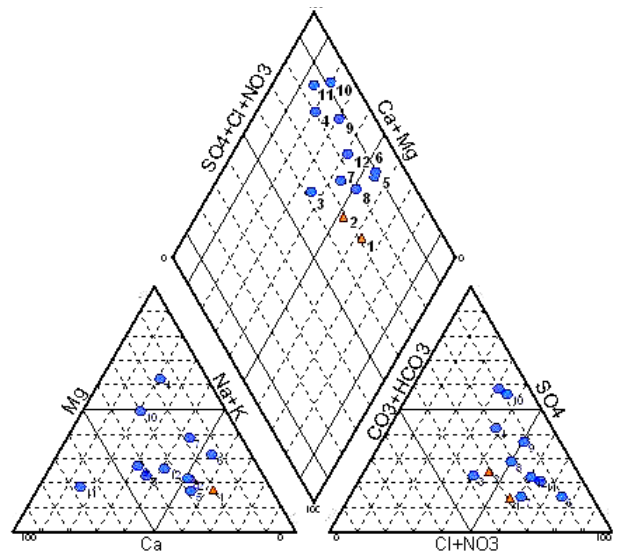


Figure 2 : Représentation des teneurs en ions majeurs

Les faciès des eaux des sources, 4, 9,10 et 11, chlorurée-calcique et sulfatée-magnésienne indiquent une dissolution des carbonates, des évaporites et des échanges cationiques des éléments (Mg, Ca)/Na dans les argiles.

Le diagramme Schöeller – Berkaloff (Fig. 3), utilisant les concentrations des ions majeurs permet d’obtenir la qualité chimique des eaux.

La figure 3 fait ressortir trois types d’eaux.

Une eau de bonne qualité pour les sources 3 et 11.

Un groupe d’eaux composé des sources 4, 8, 9, 12 et des forages, de qualité passablement bonne.

les eaux saumâtres des sources 5, 6 et 7.

CARACTÉRISATION HYDROCHIMIQUE ET APPORT ISOTOPIQUE SUR LA SALINITÉ DU BASSIN D'EL EULMA EN RÉGION SUD-SÉTIFIENNE (ALGÉRIE NORD ORIENTALE)

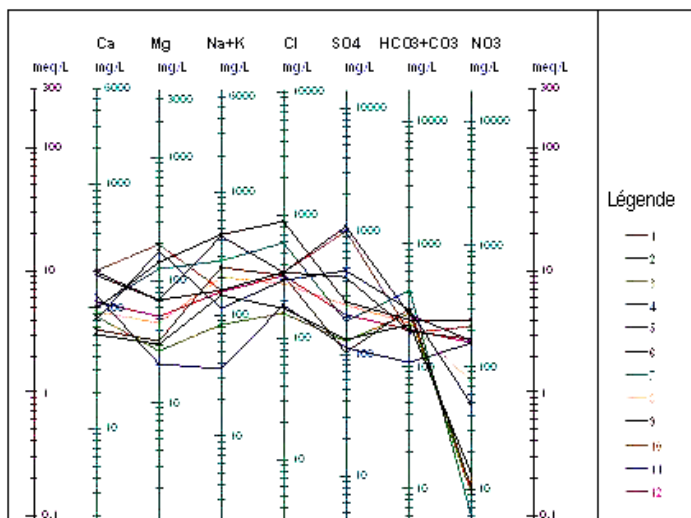


Figure 3 : Représentation chimique des eaux

Salinité des eaux dans le bassin

Les variations des sels dissous permettent de distinguer les deux sources de salinisation des eaux (Tabl. 3).

Les eaux saumâtres des sources 6 et 7, aux teneurs très élevées en Chlorures et notables en sodium sont contaminées par la sebkha.

Excepté les sources 3 et 11, le reste des eaux indiquent une forte contamination par les sels des évaporites, en particulier les sources 5,9 et 10, aux teneurs considérables en sulfates et calcium.

Nom	Libellés	Na/Ca	%Na	SAR	Cl/Na	SO ₄ /Ca	SO ₄ /Cl
Forage 1	1	5,56	63,20	5,56	0,9	0,6	1,1
Forage 2	2	3,46	52,60	3,46	0,8	0,9	0,4
Source 3	3	2,48	-	-	1,3	0,6	-
Source 4	4	2,32	20,68	1,52	1,8	0,9	2,2
Source 5	5	3,79	54,50	6,55	0,5	2,3	0,1
Source 6	6	6,85	54,50	6,85	1,3	1,1	1,2
Source 7	7	4,21	43,75	4,21	1,4	0,7	1,1
Source 8	8	4,21	50,88	4,21	0,9	1,1	0,4
Source 9	9	1,42	30,84	2,32	1,5	0,9	0,3
Source 10	10	1,28	20,48	1,77	1,5	2	1,2
Source 11	11	0,34	14,99	0,55	4,5	0,4	0,5
Source 12	12	2,36	40,60	2,98	1,4	0,7	0,5

Tableau 3: Rapports caractéristiques et taux de sodium adsorbé (SAR) (SAR, %Na, SO₄/Cl non évalués pour la source thermique)

Corrélation entre Na et Ca

Le calcium, le magnésium et le sodium sont les cations les plus fréquents dans les eaux de surface et souterraines. Ils dépendent principalement de la géologie (dépôts de carbonates ou de gypse présents, etc.).

Le sodium est un élément des bases alcalines et alcalino-terreuses. Compte tenu de la nature hétérogène des sols, les proportions relatives en Ca, Mg, Na, sont les principaux facteurs du taux d'adsorption de sodium (SAR). Si les sols irrigués sont sursaturés en sodium, la nappe est contaminée par effet de retour d'eau. En effet, les échanges cationiques qui s'opèrent dans les argiles enrichissent les sols en sels (sols à croûtes). Ce type de salinisation affecte les régions à climat semi-aride.

Comme nous le constatons (Fig. 4), la majorité des points d'eau montre une assez bonne corrélation linéaire. La sensible diversité de la répartition des points d'eau semble en rapport avec un mélange d'eaux saumâtres.

Par ailleurs, le sodium joue un rôle dans le maintien de la perméabilité des sols pour l'irrigation. Les proportions relatives en (Na + K) et Ca + Mg, sont déterminantes. Pour l'usage agricole, le coefficient correspondant au pourcentage de sodium est 60% [10]. Ces teneurs évaluées pour les points d'eaux échantillonnés (Tabl. 3), révèlent que le forage 1 (63%), le forage 2 et les sources 5,6 et 8, aux teneurs entre 50,88 et 52,6%, marquent un risque élevé de retour d'eaux d'irrigation et une salinisation des sols dans le secteur ouest de la sebkha. Ces résultats sont corroborés avec le SAR.

Ca (mg/l)

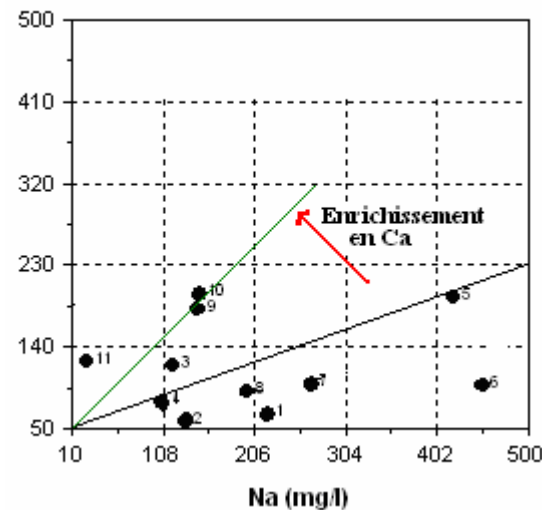


Figure 4 : corrélation Na+/Ca²⁺

Corrélation entre Cl - Na et Ca - SO₄

Il est évident, qu'au contact de la solution aqueuse, les sels évaporitiques donnent les spéciations Na⁺, K⁺, Ca²⁺ ou Mg²⁺, et Cl⁻, SO₄²⁻. L'halite et l'anhydrite sont facilement mises en solution du fait de leurs cinétiques de réaction avec l'eau. Les spéciations, Na⁺, Cl⁻, SO₄²⁻, sont alors assez importantes en concentration en raison de la quantité d'évaporites dans le sédiment et en raison de la vitesse de circulation de l'eau [11]. En considérant l'halite, les prélèvements d'eau du bassin d'El Eulma sont tous plus ou moins chargés en Cl⁻ et/ou Na⁺, avec

cependant des concentrations considérables en ces ions dépassant largement la norme, notamment, les sources 5, 6, 7 et 8. Le rapport Cl/Na de la presque totalité des eaux, en moyenne entre 0,8 et 1,8 (Tabl. 3), indique une salinisation généralisée des eaux, soit, à partir des sels minéraux, soit, de l'intrusion du plan d'eau salée dans la nappe.

Corrélation entre Cl et SO4

La concentration des ions sulfates (SO42-) est très variable dans les eaux de surface et souterraines, où elle dépend des minéraux contenant du soufre. Lorsque ces minéraux sont très abondants (comme dans les évaporites des formations triasiques), la teneur en SO42- peut dépasser le seuil des 400 mg/l (d'après le guide de potabilité des eaux de l'OMS).

La figure 5 montre une corrélation linéaire négative entre les cations (Na+ + K+) + Ca 2+ et l'anion Cl-, avec un coefficient de corrélation assez élevé (r2 = 0,64). Cela tend à prouver que la concentration totale en SO42- explique 64,48 % de la variabilité de la concentration totale en Cl- provenant des sels évaporitiques. Une assez forte proportion de ces anions pourrait aussi provenir de l'évaporation des eaux saumâtres. En effet, la distribution des points d'eau autour de la droite de dilution d'eau marine permet de distinguer trois groupes d'eaux (Fig. 5).

Le premier groupe d'eaux, (sources 1 à 3, 5, 7 et 8, ainsi que 11 et 12), positionné très près de la droite de dilution de l'eau de mer, indique une condensation locale de l'évaporation de la sebkha en période d'été.

Le second groupe d'eaux composé des sources 4 et 9 traduit un mélange d'eaux météoriques et saumâtre de sebkhet Bazer.

Alors que le positionnement du troisième groupe d'eaux formé par les sources 6 et 10 est nettement significatif d'une salinisation à partir des roches salines.

Le rapport Cl/SO4 (inférieur à 1) caractérise un mélange d'eaux saumâtres et d'évaporites lorsque la concentration en SO4 est forte ; dans notre cas les points d'eau concernés sont le forage 2 et les sources 8, 11 et 12.

SO4 (mg/l)

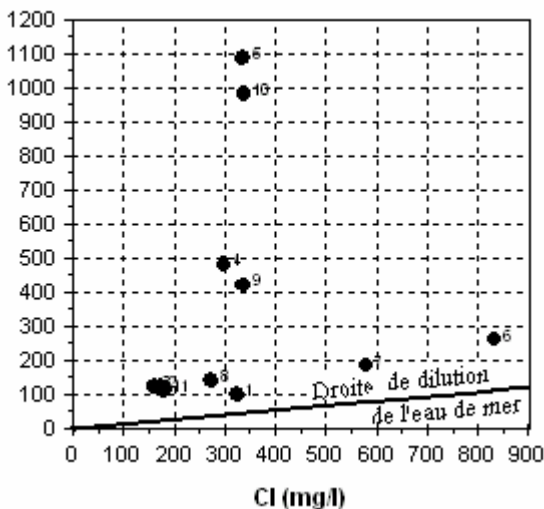


Figure 5 : Corrélation Cl/SO42-

Signification de la variation des nitrates

Les nitrates, ou nitrification de l'azote organique et ammoniacal par processus d'oxydation, informent sur les risques de pollution de l'aquifère, et sur l'eutrophisation du milieu. Presque 50% des points d'eau (Tabl.1) contiennent une concentration alarmantes en NO3-, autour de 200 mg/l-1. Notons que selon les normes établies par l'OMS, cette substance très nocive, aux concentrations considérablement élevées dans l'aquifère, ne devrait pas dépasser 50 mg/l.

L'analyse des données permet de constater que les nitrates varient de façon significative. La concentration, en ces ions, diminue en raison des teneurs considérables en sulfates, alors qu'elle augmente lorsque les teneurs en ces ions diminuent. Ce processus est connu de l'action dépolluante des bactéries sulfato-réductrices (bactéries thermophiles des eaux mésothermales), qui, en anorexie, réduisent le nitrate en nitrite ou qui réalisent une complète dénitrification jusqu'à l'azote moléculaire [9]. La réduction locale des nitrates, aux teneurs, entre 9 et 48 mg/l, dosées dans les eaux des deux forages et des sources 4 et 7, est en rapport avec un apport d'eaux thermales dans la nappe.

Le système CO2-H2O-Ca, Mg (CO3)2

Les concentrations assez importantes des spéciations Ca2+, Mg2+, HCO3-, sont essentiellement rapportées à l'aquifère karstique hydrothermal du fait des pCO2 assez élevées (Tabl.4). Le rapport Ca/Mg est caractéristique de l'acidité du milieu. Sa faible valeur indique l'appauvrissement des eaux en Ca2+ [12] qui provoque une augmentation de la teneur en HCO3- (Tabl. 1 et 4). Les sous saturations par rapport à la calcite et par rapport à la dolomite (Tabl.4), indiquent un dégazage du CO2 par mélange d'eaux dans la formation mio-plio-quaternaire.

Libellés	pCO2 10-2 bar	Ca/Mg	ISc	ISd	ISg
1	2,13	1,3	-0,33	-0,50	-1,71
2	1,65	1,2	-0,49	-0,79	-1,61
3	2,40	1,9	-0,07	-0,36	-1,49
4	1,89	0,3	-0,4	0,05	-1,20
5	1,30	1,7	-0,04	-0,05	-0,55
6	2,73	0,4	-0,13	0,39	-1,36
7	2,74	0,5	-0,10	0,40	-1,45
8	1,85	1,2	-0,28	-0,36	-1,46
9	1,30	1,6	-0,17	-0,28	-0,84
10	1,24	0,6	-0,21	0,006	-0,65
11	0,80	3,6	-0,48	-1,25	-1,35
12	1,36	1,3	-0,35	-0,53	-1,27

Tableau 4 : Saturations des prélèvements d'eau

Les sous saturations par rapport au gypse, sont en étroite relation avec le mélange d'eaux dans les terrains néogènes, et/ou avec un contact court des eaux (une circulation rapide).

Par ailleurs, les concentrations en silice assez élevées, entre 10 et 16.9 mg/l-1 (Tabl.1), semblent corrélées une

CARACTÉRISATION HYDROCHIMIQUE ET APPORT ISOTOPIQUE SUR LA SALINITÉ DU BASSIN D'EL EULMA EN RÉGION SUD-SÉTIFIENNE (ALGÉRIE NORD ORIENTALE)

origine profonde des teneurs en pCO₂. Une évaluation du thermalisme des eaux profondes drainées dans l'aquifère fournit une température moyenne voisine de 60°C.

Apport de l'hydrologie isotopique

Le fractionnement cinétique connu des eaux marines (océaniques), affecte de la même façon les eaux continentales restantes soumises à l'évaporation ; il s'ensuit, un enrichissement en isotopes lourds des eaux restantes [14].

Le contenu isotopique de l'aquifère (Tab. 5) en 2H : - 95,70 à - 42,50 ‰ SMOW et en 18O : -7 à -5,99 ‰ SMOW, confronté à la droite des eaux météoriques mondiales met en évidence deux familles d'eau (Fig.6).

Libellés	δ 18O ‰ (-2,3)	δ 2H ‰ (-10,4)	δ 2H/ δ 18O (4,52)
2	-6,80	-42,50	6,25
3	-6,15	-45,00	7,31
5	-6,29	-66,20	10,52
6	-7,51	-71,00	9,45
7	-6,21	-58,70	9,18
8	-6,56	-59,20	10,83
9	5,99	-64,90	9,02
10	-6,30	-60,10	9,53
12	-6,70	-61,50	9,45

Tableau 5: Teneurs des isotopes 2H et 18O de quelques prélèvements de quelques 'eaux de la nappe d'El Eulma

La première famille, regroupant la majorité des échantillons d'eau, est portée par une droite de pente 3, appartenant soit au domaine des eaux évaporées, soit à celui des eaux de paléorecharge.

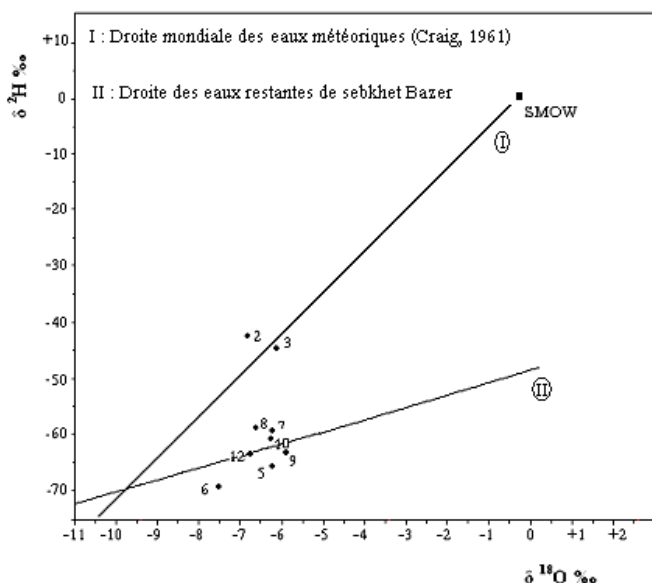


Figure 6 : Teneurs en δ 18O et δ 2H ‰ des prélèvements

d'eau

La deuxième famille, composée de l'eau du forage 2 et de la source thermique 3, diffère des autres eaux par un appauvrissement en oxygène-18, en particulier l'eau du forage dont la teneur en oxygène-18 est assez proche de celle de l'eau météorique (δ 18O = -10). Notons que lors du processus d'évaporation des eaux marines, la covariance 18O et 2H aboutit à la teneur -10 ‰ en δ 18O à laquelle correspond la teneur -80 δ 2H.

CONCLUSION

Dans les bassins endoréiques, le potentiel de risque de contamination de la ressource souterraine par intrusion d'eaux saumâtres est assez analogue aux aquifères côtiers. Dans le bassin à l'étude, ce facteur conjugué aux évaporites contenues dans les dépôts mio-pliocènes, et à la semi aridité du climat, provoque une considérable salinisation de la modeste ressource en eaux superficielles et souterraines.

En recherchant les différents paramètres susceptibles de fournir des informations sur la contamination de l'aquifère, d'autres importantes informations sur les caractéristiques hydrogéologiques du bassin sont apparues grâce à l'hydrogéochimie. En effet, à travers la nette sous-saturation des eaux par rapport au gypse, il paraît évident que l'aquifère thermique décharge une partie de ses eaux dans les sédiments mio-plio-quadernaire à la faveur d'un système de failles ouvertes profondes. Cette caractéristique confère aux sédiments de couverture à la fois le rôle de zone d'infiltration au système sous-jacent et celui de zone saturée.

L'utilisation de l'hydrologie isotopique de la molécule d'eau a permis de préciser la contribution de sebkhet Bazer quant à la salinité de la nappe.

En outre, compte tenu des paramètres chimiques et climatique, il est à redouter qu'à court terme, la surexploitation de l'aquifère mio-plio-quadernaire et la faible dilution des eaux accroîtront le problème posé par la salinité des eaux. De plus, il est à craindre une compaction des sols de sub-surface.

RÉFÉRENCES

- [1]-Demdoum A., "Étude hydrogéologique de la plaine d'El Eulma et le problème de la qualité des eaux", Thèse Magister, Uni. Constantine, (1996), p. 205.
- [2]-Vila j m., "La chaîne Alpine d'Algérie orientale et des confins Algéro-Tunisiens", Thèse ; Doc Etat Es Sciences, Uni, Paris VIe, 2ème t, (1980), p. 586.
- [3]-Djebbar m., "Le système karstique hydrothermal constantinois (Algérie nord orientale) : structure et fonctionnement", 8ème Colloque d'hydrogéologie en pays calcaire, UFC-CHYN, Neuchâtel, Presses universitaires de Franche-Comté, Université de Franche-Comté, (2006), pp. 89-92
- [4]-Bakalowicz M., Ford D. C., Miller T., Palmer A.N., Palmer M.V., "Thermal genesis of dissolution caves in the Black Hills, South Dakota. Geological Society of America Bulletin, (1989), 99: 729-738.
- [5]-Truesdell a h, et Fournier r o., "Procedure for estimating the temperature of a hot-water component in a mixed water by using a plot of dissolved silica versus enthalpy". J. Res. U.S.G.S.5, (1977) pp. 49-52.
- [6]- Ellis a j., " Chemical geothermometry in geothermal systems ". Chemical geology 25,(1979) pp. 219-226
- [7]- Craig h., "Isotopic variations in meteoric waters. Science, 133, (1961), pp1702-1703
- [8]- Fontes jc et Zuppi g m., "Isotopes and water chemistry in sulphide-bearing springs of central Italy" In Conference on Interpretation of environmental isotope and hydrochemical data in groundwater hydrology, Vienna, Austria, Panel Proceedings Series, IAEA, STI/PUB/429, (1976) pp. 143-158.
- [9]-Wallick e i ., Krouse h r., et Shakour a., "Environnemental isotopes: principles and applications in groundwater geochemical studies in Alberta, Canada", IST Canadian –American Conf. Hydrogeology, NWWA, Ohio, (1984), pp. 249-266.
- [10]-Rodier J., "L'analyse de l'eau : eaux naturelles, eaux résiduaires, eau de mer ; chimie, physico-chimie, bactériologie, biologie", Dunod Tech, Paris, (1978), p. 1135 ; pp 913-919.
- [11]-Maglione g., "Géochimie des évaporites et silicates néoformés en milieu continental confiné". Thèse Doct. Paris. O.R.S.T, (1974), p. 331.
- [12]-Labat c., "Soufre". Biosciences de l'Environnement, Chimie et Santé/Milieu Marin/, Université de la Méditerranée-Aix-Marseille II, DEA, (2004).
- [13]- Chevalier-Lemire G, Pigassou R, Rigail R, Vilmus T. Étude des variations naturelles du débit des sources thermales à Luchon (Haute-Garonne, France). BULL BRGM 1990; 4:287-296.
- [14]-Fontes jc., "Isotopes du milieu et cycles des eaux naturelles : quelques aspects", Thèse; Doc, Etat, Uni, Paris VIe, (1976), p. 208.