

HYDROGEOCHIMIE ET CHEMINS D'ÉCOULEMENT DES EAUX DU SYSTÈME AQUIFÈRE DE JEFFARA-GABES NORD

HYDROCHEMISTRY AND GROUNDWATER FLOW OF JEFFARA-GABES NORTH AQUIFER SYSTEM

Sahli H¹, Tagorti M.A.², Srarfi F³ & Tlig S¹

¹ UR-GAMM, Université Tunis-El Manar, Faculté des Sciences de Tunis, Tunisie hasahli@yahoo.fr

² Institut Supérieur de bio-technologie de Monastir, Monastir Tunisie

³ Département de Géologie, Faculté des Sciences de Gafsa, Université de Gafsa, Tunisie

RESUME

Le système aquifère de Jeffara (Complexe Terminal) est composé de la nappe phréatique Mio-Plio-Quaternaire sableuse et de l'aquifère artésien du Sénonien Carbonaté. Les calcaires Sénonien reçoivent à l'Ouest une décharge aquifère chaude (70°C) du Continental Intercalaire via le réseau de failles d'El Hamma de direction sensiblement N-S et NW-SE, puis la température de l'aquifère diminue à 22°C au Nord Est suivant la sens d'écoulement des eaux. Les aquifères en écoulement sont proches de la saturation ou sursaturés respectivement en aragonite, calcite et dolomite. Le gypse est toujours sous-saturé ou proche de la saturation indiquant une accumulation des sulfates dans les eaux. Les eaux à faible charge saline sont à dominance de Ca-Na-SO₄ alors que celles fortement chargées, sont dominées par Na-(Mg)-Ca-SO₄-Cl. De plus, les eaux du Continental intercalaires sont à Mg-Ca-SO₄-Cl et à 4,7 g/l en charge saline. Plus à l'Est, les eaux de l'aquifère de Jeffara-Chenchou, puis celles de l'aquifère phréatique, regagnent un faciès de type Mg-Ca-SO₄-Cl et à 3,8 à 19,7 g/l de salinité. L'analyse hydrogéochimique appuyée par des données géologiques de terrain et des calculs thermodynamiques, permettent d'apprécier une communication entre l'aquifère du continental intercalaire et le système aquifère de Jeffara-Chenchou en particulier, non pas uniquement par l'intermédiaire de la transversale tectonique, réactivée d'El Hamma, mais aussi par le biais d'un réseau de failles de direction NE-SW et E-W qui permet une advection des eaux profondes, leur remontée et leur mélange avec celles dans l'aquifère du Sénonien et celles de la nappe phréatique en perpétuel écoulement vers l'exutoire naturel.

Mots clés : Systèmes aquifères, Continental Intercalaire, Complexe Terminal, failles, communications latérale, résurgence.

ABSTRACT

The main aquifers (Complexe Terminal) include sand layers within Mio-Plio-Quaternary sequences and fractured bedrocks in the underlying limestones of Senonian age. The Sénonian aquifer is recharges to the West by Continental Intercalaire hot groundwaters (70°C) via the El Hamma network fault N-S and NW-SE direction, then water temperatures diminish to 22°C in the Northeastern area of the basin following the groundwater flow direction. These groundwaters are saturated or even supersaturate in aragonite, calcite and dolomite. Gypsum is generally under saturation or close to saturation indicating saturation of sulphate in groundwaters. Moreover, geochemical indicate that water table with low salinity are dominated by Ca-Na-SO₄ type while waters with high total dissolved salts belong to Na-(Mg)-Ca-SO₄-Cl type. The latter hydrochemical facies characterizes the Continental Intercalaire. Chemical analyses supported by geological data and thermodynamic calculus prove that it exists a lateral communication between Continental Intercalaire aquifer and the Jeffara system aquifer through the El Hamma active faults. Also, the results show a mixing and an upward leakage from the Senonian aquifer to the uppermost mio-plio-quaternary reservoir via NE-SW and E-W oriented master faults.

Key Words : Aquifer system, Continental Intercalaire, Complexe Terminal, faults, lateral communication, upward leakage.

INTRODUCTION

L'extension urbaine au domaine Nord-Est de Jeffara (Gabès Nord) contribue à une dégradation du régime hydrologique et hydrogéochimique de la région. De plus, l'accumulation des sels dans les sols par suite à une forte évaporation en milieu aride, modifie la composition des eaux souterraines. Ces sels sont lessivés soit par des eaux météoriques soit par des eaux d'irrigation qui s'infiltreront et altèrent les eaux souterraines.

Notre objectif est de mettre en évidence les mécanismes qui contrôlent la qualité des eaux souterraines de la région située à l'Est des Chotts, aux confins Ouest de l'oasis de Gabès Nord. Le bassin local correspondant à Chenchou-Métouia, évolue sous climat aride méditerranéen dont la pluviométrie ne dépasse guère 200 mm, avec des oueds à écoulement irrégulier. L'activité agricole se concentre dans les oasis (Chenchou, Metouia, Ouedhref, Nahal, Gabès, Ghannouche...); avec un déficit en eau d'irrigation. Dès lors, l'alimentation en eaux souterraines se fait à partir de nombreux puits de surface exploitant l'aquifère Néogène-Quaternaire de Gabès Nord et à partir de l'aquifère Sénonien de Jeffara-Chenchou (Complexe Terminal) (DRE, 2002).

GEOLOGIE

L'aire d'étude correspond à la partie Nord du bassin de Jeffara maritime ; y affleurent des terrains du Quaternaire, du Néogène et du Crétacé ceinturés au Nord par une suite de chaînons (Zemlet el Bidha, Jebel Jerouala, Jebel Haidoudi,..) qui forment la partie Est de la chaîne Nord des chotts. Les terrains miocènes sont constitués d'argiles, de sables et de conglomérats présentant des variations latérales en faciès et en épaisseur (Abidi, 2004). Les séries quaternaires sont composées de terrasses argileuses, de plaines sableuses colluviales, de sols de sabkhas, de nebkhas et de barkhanes (Fig.1).

A la base, les terrains du Crétacé inférieur comportent des sables, des dolomies, des argiles et des gypses (Continental Intercalaire) datant du Purbecko-Wealdien (Domergue, 1952 ; Barnaba, 1965 ; M'Rabet, 1981 ; Abdeljaoued, 1983) ; ils affleurent au cœur de l'anticlinal des Chotts et au Jebel Zemlet El Bidha et supportent une série complexe de dolomies, calcaires et marnes du Sénonien (Complexe Terminal).

La tectonique syn-dépôt a contrôlé la sédimentation des séries du Complexe terminal et leurs variations d'épaisseurs dans des blocs paléogéographiques organisés en horsts, grabens et demi-grabens, délimités par des failles directionnelles N-S, E-S, NE-SW et NW-SE (Louhaïchi et al, 1993) dont les plus remarquables sont le horst de Ouedhref- Métouia et le graben de Chenchou.

Les terrains méso-cénozoïques de la région subissent une déformation tectonique importante durant le Sénonien et le Paléogène. Les dépôts à dominance terrigène des formations tertiaires (Formations Béglia et Ségui) et ceux du Quaternaire comblent les bassins.

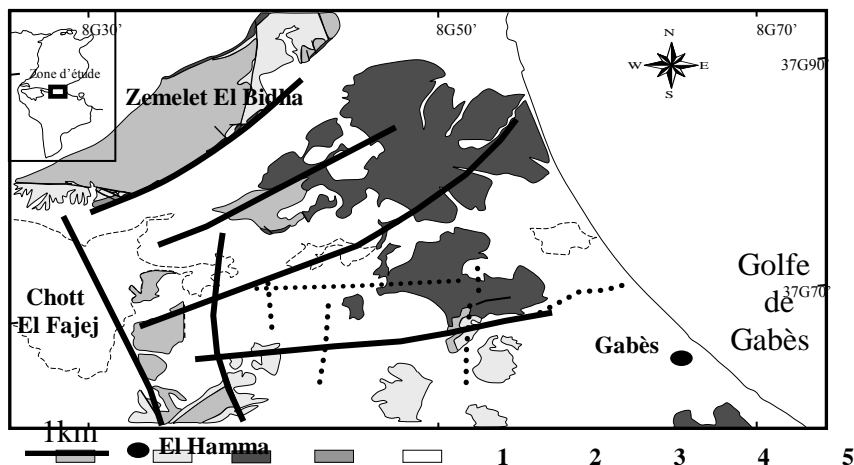


Fig. 1 : Location du secteur d'étude. 1. Crétacé inférieur, 2. Crétacé supérieur, 3. Néogène, 4. Eocène, 5. Quaternaire, / Faille.

ORGANISATION DES AQUIFERES

Dans la région, le système hydrogéologique est composé de deux aquifères principaux : l'un sableux appartenant au Miocène-Quaternaire de Gabès Nord et l'autre, au Sénonien de Jeffara-Chenchou. Ce dernier, présente une épaisseur maximale de 100 m à l'Ouest, et diminue en puissance en direction Est et Nord-Est. La transmissivité varie de 1,5 à 130 m²/j dans les carbonates et de 300 à 3600 m²/j pour l'aquifère sableux de Gabès Nord. Cependant, une valeur de transmissivité nettement plus élevée (15000 m²/j) a été estimée au forage Chanchou-1 pour l'aquifère Sénonien de Jeffara-Chenchou (Abidi, 2004). L'aquifère de Gabès Nord phréatique englobe à sa base des argiles lacustres supportant des molasses continentales et des alluvions en éventail affectées par la tectonique. Y apparaît une variation d'épaisseur et de faciès intéressant en particulier la fraction détritique. La continuité régionale de l'horizon argileux de base contribue au confinement de l'aquifère carbonaté sous-jacent du Continental Terminal à résurgence artésienne (Mekrazi, 1975). Le système aquifère est délimité au Sud et à l'Ouest par des dolomies et marnes du Crétacé supérieur qui forment le substratum, plus à l'Ouest viennent les séries du Purbecko-Wealdien des Chotts (Fig. 2), d'où les eaux en écoulement du Continental Intercalaire semblent se décharger dans l'aquifère Sénonien de Jeffara-Chenchou notamment par le réseau de faille d'El Hamma (Mekrazi, 1975 ; Mamou, 1990). Au Nord et au Nord-Ouest, ce système est délimité par les structures atlasiques de Zemlet el Beidha et de la chaîne Nord des Chotts.

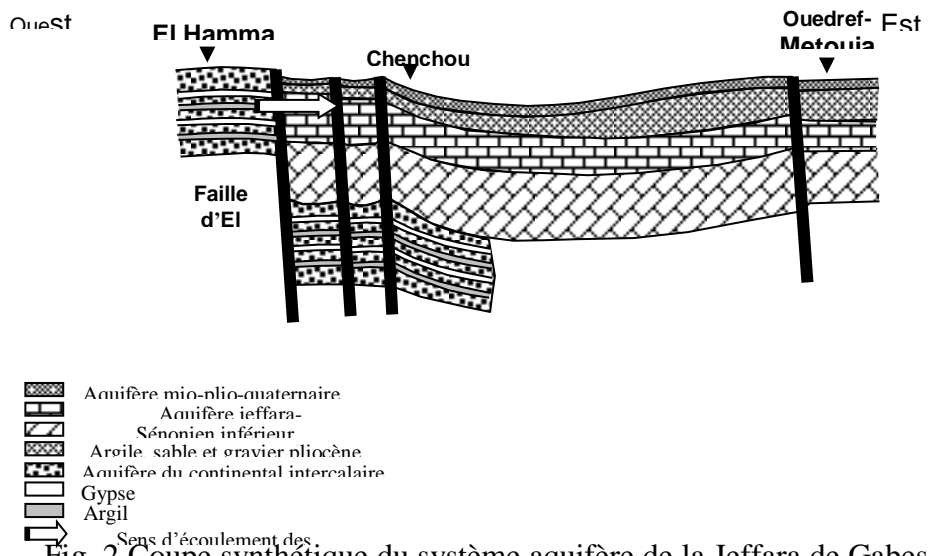


Fig. 2 Coupe synthétique du système aquifère de la Jeffara de Gabes Nord

Nord

Les sources chaudes d'El Hamma représentent la résurgence de l'aquifère gréseux et carbonaté du Crétacé inférieur de l'anticlinal de Chott el Fejej. Cet aquifère est confiné sous les gypses et les argiles de la formation Bouhedma. La terminaison périclinale Est de cet anticlinal est affectée par un réseau de faille de direction NW- SE et N-S. En particulier, la faille d'El Hamma qui met l'aquifère sableux du Continental Intercalaire en contact avec les séries du Sénonien de Jeffara situées plus à l'Est à dominance dolomitique fracturée et marneuse (Mekrazi, 1975).

Les eaux du Continental Intercalaire présentent une salinité qui varie de 3 à 4,5 g/l, et une température, de 50 à 70 °C (Mekrazi, 1975 ; Edmunds, 2003). Il apparaît que des failles directionnelles NW-SE et E-W constituent l'issue préférentielle pour l'émergence d'eaux souterraines du Continental Intercalaire. Les valeurs de transmissivité estimées sont de l'ordre 4,32 m²/j, pour une pression de 8 à 10 bar. Compte tenu d'une épaisseur moyenne de 250m de cet aquifère, la conductivité peut être située entre 2 et 35 m/j.

L'écoulement des eaux souterraines est globalement dirigé au Nord-Est, avec une décharge sensible qui coïncide avec le système endoréique sabkha el Melah-el Mekhacherma et plus à l'Est avec sabkha Erouhia aux environs de Ouedhref-Metouia. La profondeur du plan d'eau de la nappe phréatique dans le Néogène-Quaternaire décroît de 35m au Nord-Ouest à 5 m à l'Est dans les zones côtières.

ECHANTILLONNAGE ET ANALYSES

Des données géochimiques de plus de 300 échantillons collectés à partir des puits et des forages sont exposées par la direction des ressources en eaux de Gabès (DGRE, 2004). Les données utilisées dans ce travail sont ceux de 30 puits et forages les plus représentatifs du système hydrogéologique local et des principaux faciès géochimiques des eaux puisées dans les aquifères précédents comme identifiés par nos prédécesseurs (Fig.3).

Les échantillons sont collectés dans des bouteilles en PTFE. Pour chaque échantillon, une fraction acidulée (HNO₃, N/10) sert à la détermination des cations (Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ et Na⁺), et une autre non acidulée, pour le dosage des anions (F⁻, Cl⁻, SO₄⁼,...). La température, le potentiel hydrogène et la conductivité électrique des eaux sont mesurées in situ en utilisant une sonde multifonction de terrain, le pH-mètre étant étalonné par des solutions à pH 4 et pH 7.

L'alcalinité totale est titrée par l'acide chlorhydrique HCl (N/10) en présence de méthyle orange. Cette analyse et celles des cations, particulièrement Ca²⁺ doivent être réalisées 24h après échantillonnage.

La méthode gravimétrique est utilisée pour l'analyse des sulfates, alors que les méthodes de potentiométrie directe aux électrodes spécifiques couplées mesurent les teneurs de Cl^- et F^- . La fiabilité de l'analyse de chaque élément est vérifiée par un calcul de balance ionique.

RESULTATS

Dans l'aquifère de Jeffara-Chenchou la salinité varie de 2,7 à 5,6 g/l (**Tableau I**); tandis que la salinité des eaux du Continental Intercalaire est de 2,5g/l à 4,7 en moyenne (Mamou 1990; Edmunds et al, 2003). La majorité de ces eaux sont de type $\text{SO}_4\text{-Cl}$ avec une dominance de Na, Ca et Mg. Ce sont des eaux neutres à légèrement alcalines ; le pH varie de 7 à 8,5, et la température moyenne de 50 à 70 °C (Mekrazi, 1975 ; Mamou, 1990).

Les eaux dans le système aquifère de Gabès Nord (**Tableau I**) présentent des caractéristiques similaires à celles des eaux souterraines du Continental Intercalaire décrites par Mamou (1990). Ce sont des eaux à faible charge saline et à dominance de Ca-Na-SO_4 , alors que celles à forte charge saline sont dominées par $\text{Na-(Mg)-Ca-SO}_4\text{-Cl}$. La température des eaux souterraines de l'aquifère de Jeffara-Chenchou diminue de 50°C à proximité de la faille d'El Hamma, à 43°C à Chenchou, à 30°C au Sud-Est du bassin entre Jebel El Hamma et Jebel Ed Dissa.

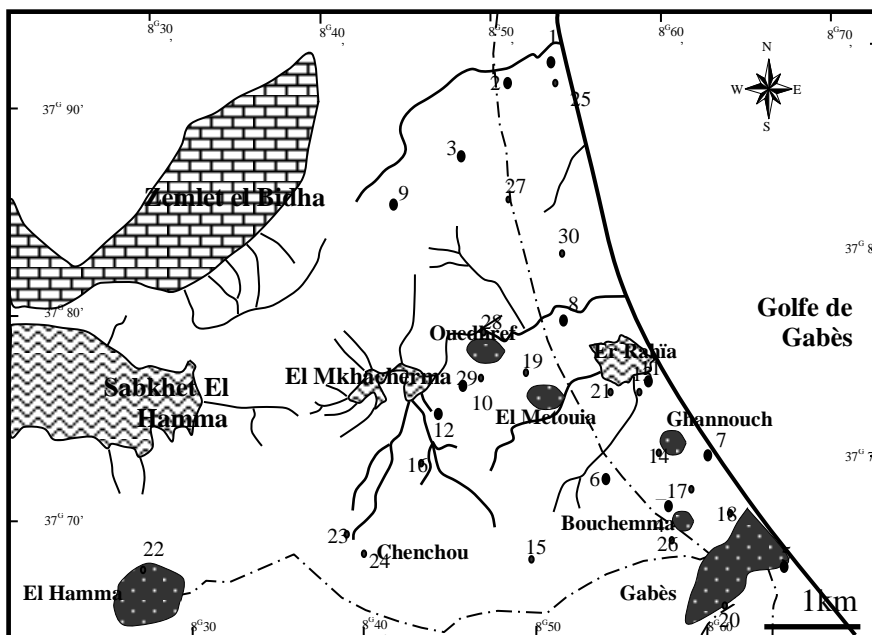


Fig. 3 : Localisation des puits et forages échantillonnés à partir du système aquifère de Jeffara de Gabès Nord.

Les teneurs des ions Cl^- et SO_4^{2-} augmentent proportionnellement dans les eaux souterraines dans le sens d'écoulement en direction du NE, où les teneurs en Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-} sont les plus fortes.

Dans la partie Est du bassin, la composition chimique des eaux de l'aquifère Gabès Nord varie considérablement. En effet, dans cet aquifère phréatique du Miocène-Quaternaire les eaux présentent un faciès à Ca-Mg-Cl- SO_4 et une salinité qui varie largement de 3,8 à 8,9 g/l (Tableau I).

DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS

La géométrie des aquifères et les structures géologiques locales très contrôlées par des failles directionnelles actives NE-SW, NW-SE et E-W favorables à une intercommunication entre l'aquifère du Continental Intercalaire, celui du Complexe Terminal et même celui Mio-pliocène de Gabès Nord. Les failles anciennes enracinées ont du être réactivées à plusieurs époques ; elles permettent aujourd'hui un transfert continu des eaux à partir des aquifères profonds et chauds, vers ceux plus proches de la surface. Ce phénomène de résurgence prend place surtout dans la région d'El Hamma, mais il existe aussi à l'Est jusque dans la région de Chenchou (Chenchou-1bis, Chenchou 9,...), probablement en faveur d'accidents dirigés en Sud Nord délimitant les principales structures géologiques locales.

Nous sommes donc en présence d'un mélange des eaux chaudes du Continental Intercalaire avec celles froides de l'aquifère de Jeffara-Chenchou (Complexe Terminal), voir même celles de l'aquifère Miocène-Quaternaire de Gabès Nord. Une diminution brutale de la température atteignant 22°C se produit le long d'une ligne E-W qui borde au Sud le bassin endoréique sur l'Oued El Maleh (Fig.4).

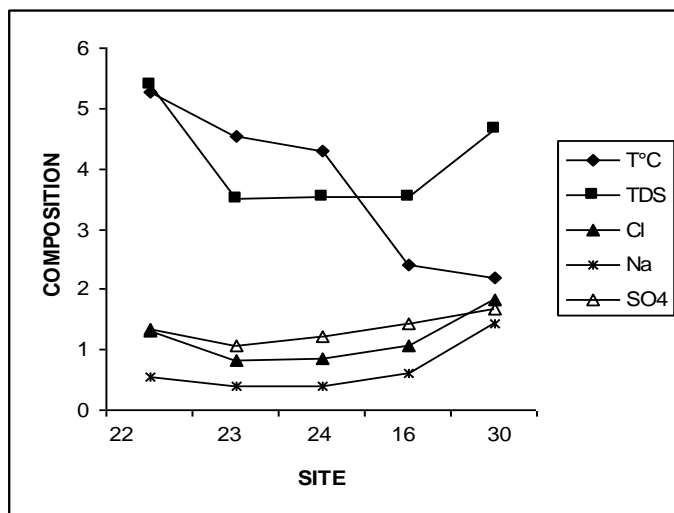


Fig. 4 : Corrélation géochimique d'Ouest en Est de la salinité de la température et de la composition élémentaire des eaux du système aquifère de Jeffara de Gabès Nord.

Les teneurs des ions Cl^- et SO_4^{2-} augmentent proportionnellement dans les eaux souterraines et suggèrent que l'accumulation de ces espèces conservatrices est très liée à une dissolution par les eaux en écoulement, du gypse et de la halite existant dans les aquifères. L'enrichissement des eaux en sels se fait dans le sens d'écoulement des eaux souterraines en direction du NE (Fig.5).

Les teneurs en Na^+ , Cl^- et SO_4^{2-} sont fortes dans la partie Est du bassin, probablement en résultat d'une faible vitesse d'écoulement des eaux souterraines et un enrichissement conséquent des aquifères en sels dissous.

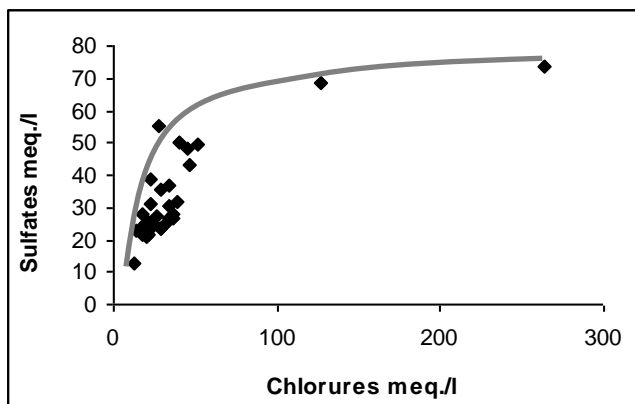


Fig. 5 : Evolution de la concentration des sulfates dans les eaux du système aquifère de Jeffara de Gabès.

Les calculs thermodynamiques prouvent que les phénomènes de dissolution- précipitation peuvent contribuer à une variation notable de la composition chimique des eaux à l'échelle du bassin. Par exemple, les eaux souterraines paraissent généralement sous-saturées en gypse (Fig.6), mais elles approchent la saturation ($SI > 0,5$) lorsque les sulfates s'accumulent progressivement à partir des substrats.

Suivant le sens d'écoulement majeur, les eaux souterraines du Continental Intercalaire présentent une température qui décroît à partir de 70°C ; ce sont les mêmes eaux qui émergent des sources hydrothermales d'El Hamma, de type Ca-Mg-Cl-SO_4 et dont la salinité est de $4,5 \text{ g/l}$. Ces caractéristiques hydrochimiques sont celles des eaux profondes confinées du Pubercko-Wealdian argilo-sableux et gypseux (Mamou, 1990).

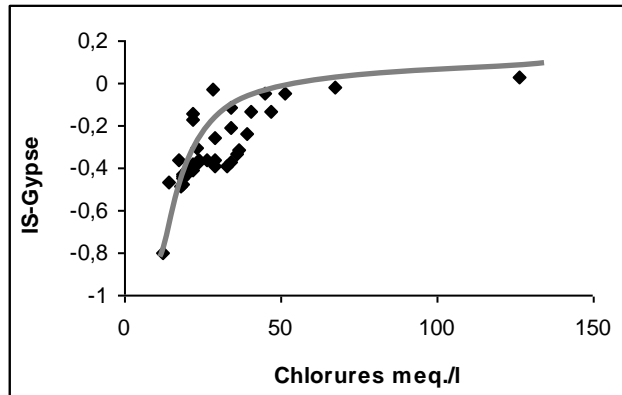


Fig.6 : Evolution de la concentration du gypse dans les eaux du système aquifère de Jeffara de Gabès.

Plus à l'Est encore, les eaux de la nappe phréatique de Gabès Nord présentent une variation considérable dans leurs compositions chimiques. En effet, dans cet aquifère du Miocène-Quaternaire les eaux présentent un faciès à Ca-Mg-Cl-SO₄ et une salinité qui varie largement de 3,8 à 19,7 g/l. Logées dans des dépôts alluvionnaires et sableux, les eaux de cet aquifère trouvent leur exutoire dans une exploitation excessive dans les oasis riveraines, mais aussi dans le système endorhémique de Sabkha EL Melah-EL Mekhecherma aux effets évaporatoires intenses.

Tableau 1 : Analyse chimique et calculs thermodynamiques des eaux de l'aquifère phréatique Mi Plio-Quaternaire et

N°	Aquifer	T°C	pH	EC ms/Cm	Ca2+	Mg2+	Na+	K+	Cl-	SO4=	HCO3-	CO32-	TDS	SI- Gypsum	SI- Aragonite	SI- Calcite	SI- Dolomite
1	Mio-Plio- Quaternaire		6.27	6	25.8	21.58	19.57	0.62	25.49	46.21	2.2	1.1	5 000	-0.13	0,18	0,33	0,75
2	-	-	6.75	4.2	25	11	22.61	0.72	23.49	25.81	2.2	1.1	7 100	-0.26	0,49	0,63	1,03
3	-	-	6.94	4.27	18.8	14.17	24.17	0.36	26	27.6	2.4	1.2	3 824	-0.36	0,4	0,54	1,07
4	-	-	7.22	8.4	27.6	34.83	37.7	0.79	40.51	50	2.8	1.4	6 000	-0.13	0,24	0,39	0,98
5	-	-	6.8	8.11	30.2	29.58	28.26	0.64	46.48	43.35	4	2	7 100	-0.13	0,73	0,87	1,86
6	-	-	6.9	5.13	24.4	17	28.26	0.36	22	38.46	2.2	1.1	6 000	-0.17	0,42	0,56	1,09
7	-	-	7.3	8.22	33.2	26.58	24.98	0.74	46	47.33	3	1.5	7 100	-0.06	1,42	1,56	3,15
8	-	-	6.8	6.89	25.2	16.58	28.43	0.69	39.18	31.96	2.4	1.2	6 440	-0.24	0,49	0,63	1,2
9	-	-	7	5.3	27.5	13.83	31.3	0.46	33.8	30.54	4.2	1.2	4 260	-0.21	-0,1	0,14	0,09
10	-	-	7	6.27	17.6	11.58	18.83	0.36	26	27.6	2.2	1	5 250	-0.38	0,3	0,44	0,85
11	-	-	6.83	8.2	18	11.42	22.17	0.38	20	23.1	2.4	1.2	7 100	-0.41	0,41	0,55	1,02
12	-	-	7.9	11.06	51.8	52.83	104.13	2.54	72.37	31.88	2.2	1.1	8 970	-0.2	1,05	1,19	2,54
13	Sénonien	29	7.1	4.35	16.6	15.83	20.83	0.31	21.49	25.4	2.4	1.2	3 200	-0.38	-0,2	0,12	0,29
14	-	26.7	6.97	3.92	17	13	17.39	0.28	17.01	27.94	2.4	1.2	3 560	-0.36	0,36	0,51	1,01
15	-	27.7	6.93	3.91	15.4	14.83	18.65	0.36	18.51	22.54	2.4	1.2	2 800	-0.48	0,35	0,49	1,08
16	-	28.3	6.97	3.58	15.2	12.15	18.65	0.38	18	21.4	2.4	1.2	3 200	-0.49	0,35	0,49	1,01
17	-	23.5	6.9	4.72	18.4	14.83	23.67	0.69	24.13	22.38	2.4	1.2	4 328	-0.44	0,3	0,45	0,92
18	-	22	6.81	4.17	16.4	13.42	21.13	0.41	19.1	22.54	2.4	1.2	4 610	-0.46	0,16	0,3	0,63
19	-	25.6	6.89	5.14	19.6	13.08	26.7	0.64	29.01	35.27	2.2	1.1	4 200	-0.26	0,3	0,44	0,75
20	-	24.5	7.03	4.09	16	14	19.13	0.38	18.51	24.17	2.4	1.2	4 350	-0.44	0,39	0,53	1,12
21	-	26.9	6.8	4.1	16.6	6.25	19.87	0.38	20	21.88	2.2	1.1	4 250	-0.42	0,14	0,28	0,25
22	-	52.8	6.95	7	23	18.42	23.43	1.18	36.62	28.02	2.8	1.4	5 404	-0.31	0,43	0,57	1,17
23	-	45.4	6.78	4.35	18.2	ND	17.83	0.77	23.1	22.29	2.54	1	3 500	-0.34	0,24	0,38	-
24	-	43	7.17	4.82	19.6	11	16.65	0.77	24	25.48	2.54	1	3 520	-0.37	0,51	0,66	1,23
25	-	25.2	7.29	3.51	19.4	12	17.87	0.62	23.66	24.54	2.4	1.2	4 288	-0.36	0,53	0,68	1,26
26	-	23	6.76	4.2	18.25	10.58	19.35	0.49	21.49	21.85	2.2	1.1	4 550	-0.41	0,07	0,21	0,3
27	-	25.6	7.02	4.15	17	11	14.48	0.38	20	21.02	2.2	1.1	4 300	-0.41	0,4	0,54	1,01
28	-	26.6	6.9	4.2	17.6	12	20.83	0.44	20.51	23.44	2.4	1.2	4 200	-0.41	0,29	0,44	0,82
29	-	23	7.71	2.23	8.6	6.83	12	0.36	12	12.42	1.2	0.6	4 250	-0.8	0,11	0,26	0,53
30	-	25.3	8	4.68	30.8	16.58	28.65	1.38	33.77	36.92	2.2	1.1	4 660	-0.11	0,52	0,66	1,17

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Abdeljaoued, S. 1983 : *Etude sédimentologique et structurale de la plaine Est de la chaîne Nord des Chotts*. Thèse en Géologie, F.S.T. ; 145 p.
- Abidi, B. 2004 : *Caractéristique hydrodynamique et Géochimique de la Djeffara de Gabès, DRE de Gabès* ; 120 p.
- Abidi, B. 2004 : *Etude des nappes phréatiques de Djeffara de Gabès, DRE de Gabès* ; 180 p.
- BARNABA, P. F. 1965 : *Studio stratigrafico sul crtetaceo della Tunisie meridionale*. Riv. Ital Paleont., Milano, 71, 3 883- 922.
- EDMUNDS, W. M. et al, 2003: *Groundwater evolution in the continental intercalaire aquifer of south Algeria and Tunisia: trace element and isotopique indicators*. Applied Geochemistry 18 (2003); p 805- 822.
- Loouhaichi M. A. et Tlig S., 1993 : *Tectonique synsédimentaire des séries crétacées post- barrémiennes au Nord de la chaîne des chotts (Tunisie méridionale)* ;Géologie Méditerranéenne, Tome XX, n° 1, p 53- 74.
- Mamou, A. 1990 : *Caractéristiques et évaluation des ressources en eau du Sud tunisien*. Thèse es_ sciences, Univ. Paris Sud ; 426 p.
- Mékrazi, A. F. 1975 : *Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Gabès Nord*. Thèse es- sciences de la terre (Mention Hydrogéologie). Univ. Bordeaux I ; 169 p.
- M'Rabet, A. 1981 : *Stratigraphie, sédimentation et diagenèse carbonatée des série du crétacé inférieur de Tunisie Centrale*. Thèse Sc. Paris-Orsay ; 540 p.