This article was downloaded by: [narjess Bencheikh]
On: 03 December 2012, At: 04:58
Publisher: Taylor & Francis
Informa Ltd Registered in England and Wales Registered Number: 1072954 Registered office: Mortimer House, 37-41 Mortimer Street, London W1T 3JH, UK



Hydrological Sciences Journal
Publication details, including instructions for authors and subscription information:
http://www.tandfonline.com/loi/thsj20

Application des outils chimiques et isotopiques à l'étude de la relation hydrodynamique entre les aquifères profonds de Sfax et de la Djeffara de Gabès Nord (Sud-Est tunisien)

Narjess Ben Cheikh [a] , Kamel Zouari [a] & Brahim Abidi [b]

[a] Ecole Nationale d'Ingénieurs de, Sfax, BP, W3038 Sfax, Tunisie

[b] Arrondissement des ressources en eau, Commissariat régional au développement agricole de Gabès, Route de Médenine, 6019, Gabès, Tunisie

Version of record first published: 20 Nov 2012.

To cite this article: Narjess Ben Cheikh, Kamel Zouari & Brahim Abidi (2012): Application des outils chimiques et isotopiques à l'étude de la relation hydrodynamique entre les aquifères profonds de Sfax et de la Djeffara de Gabès Nord (Sud-Est tunisien), Hydrological Sciences Journal, DOI:10.1080/02626667.2012.717699

To link to this article: http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2012.717699

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE

Full terms and conditions of use: http://www.tandfonline.com/page/terms-and-conditions

This article may be used for research, teaching, and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, redistribution, reselling, loan, sub-licensing, systematic supply, or distribution in any form to anyone is expressly forbidden.

The publisher does not give any warranty express or implied or make any representation that the contents will be complete or accurate or up to date. The accuracy of any instructions, formulae, and drug doses should be independently verified with primary sources. The publisher shall not be liable for any loss, actions, claims, proceedings, demand, or costs or damages whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with or arising out of the use of this material.

Application des outils chimiques et isotopiques à l'étude de la relation hydrodynamique entre les aquifères profonds de Sfax et de la Djeffara de Gabès Nord (Sud-Est tunisien)

Narjess Ben Cheikh[1], Kamel Zouari[1] et Brahim Abidi[2]

[1]*Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, BP, W3038 Sfax, Tunisie*
bencheikh_narjess@yahoo.fr

[2]*Arrondissement des ressources en eau, Commissariat régional au développement agricole de Gabès, Route de Médenine, 6019 Gabès, Tunisie*

Reçu le 7 octobre 2010; accepté le 31 janvier 2012; la discussion concernant cet article est ouverte jusqu'au 1er mai 2013

Editeur Z.W. Kundzewicz; **Editeur associé** S. Faye

Citation Ben Cheikh, N., Zouari, K., et Abidi, B., 2012. Application des outils chimiques et isotopiques à l'étude de la relation hydrodynamique entre les aquifères profonds de Sfax et de la Djeffara de Gabès Nord (Sud-Est tunisien). *Hydrological Sciences Journal*, 57 (7), 1662–1671.

Résumé L'étude des bassins côtiers de Sfax et de la Djeffara de Gabès Nord, basée sur l'interprétation des données hydrochimiques (éléments majeurs) et isotopiques (^{18}O, ^{2}H et ^{14}C), a permis une meilleure compréhension du fonctionnement hydrodynamique de l'aquifère Miocène le long de la frange côtière. En effet, d'après les données géochimiques, apparaît la présence de deux types de faciès chimiques: chloruré sodique dans le bassin de Sfax et mixte à chloruré sodique dans le bassin de Gabès Nord. Cette transition d'un faciès à un autre souligne la variabilité des origines de minéralisation des eaux. L'utilisation des outils isotopiques a permis l'identification d'une eau relativement ancienne à l'exception de quelques poches de recharge récente matérialisées à partir du relief de Zemlet El Beida en amont du bassin de Gabès Nord. Ceci a été vérifié par les fortes activités en ^{14}C des eaux dans cette région. Par conséquent, on peut noter que le passage du Sud au Nord le long de la côte est marqué par une grande variation latérale de lithologie et d'épaisseur de la formation aquifère, soulignant ainsi l'indépendance de chacun des deux réservoirs de Sfax et de la Djeffara de Gabès en absence de toute continuité hydrodynamique entre les deux bassins.

Mots clefs aquifères côtiers; données géochimiques; fonctionnement hydrodynamique; outils isotopiques; recharge

Application of chemical and isotopic methods to study of the hydrodynamic relationship between Sfax and Djeffara inthe northern Gabes aquifers (southeastern Tunisia)

Abstract The study of the coastal basins of Sfax and Djeffara in northern Gabes, based on the interpretation of hydrochemical (major elements) and isotopic (^{18}O, ^{2}H and ^{14}C) data, has allowed us to understand the hydrodynamic functioning of the Miocene aquifer. Indeed, the geochemical data highlight the presence of two different groundwater types: (Na-Cl) in the Sfax basin and (Cl/SO_4-Ca/Na) to (Na-Cl) in the northern Gabes basin. This difference between groundwater types underlines the variability of the origins of groundwater mineralization. The use of isotopic tools showed a relatively old water, with the exception of some local recent recharge inferred by the rainwater infiltration through Zemlet Beida Mountain in the upstream part of the northern Gabes basin. This is also confirmed by the high ^{14}C contents of groundwater in this region. Consequently, it is noted that the transition from south to north along the coast is marked by a big lateral variation of lithology and thickness of the water-bearing formation, underlining the independence of the coastal aquifers of Sfax and Djeffara in the absence of any significant flow exchange between the two basins.

Key words coastal aquifers; geochemical data; hydrodynamic functioning; isotopic tools; recharge

Downloaded by [narjess Bencheikh] at 04:58 03 December 2012

ISSN 0262-6667 print/ISSN 2150-3435 online
© 2012 IAHS Press
http://dx.doi.org/10.1080/02626667.2012.717699
http://www.tandfonline.com

Downloaded by [narjess Bencheikh] at 04:58 03 December 2012

INTRODUCTION

La zone d'étude occupe une grande part du Sud-Est tunisien et constitue une zone charnière entre le Sahara septentrional au Sud et la plateforme orientale au Nord (Fig. 1). Elle englobe les bassins côtiers de Sfax et de la Djeffara de Gabès Nord. Caractérisé par une topographie monotone et faiblement vallonnée, le bassin de Sfax est constitué essentiellement de sédiments tertiaires et quaternaires. Vers le Sud, la plaine de la Djeffara de Gabès Nord est une zone très faillée montrant une succession de horsts et de grabens (Fig. 1). Cette complexité structurale est à l'origine de la variabilité des horizons aquifères dans cette plaine.

Plusieurs études hydrogéologiques ont été menées, indépendamment, sur ces aquifères (Daniel 1962, Illy 1968, UNESCO 1972, Mekrazi 1975, Mamou 1982, 1990, Maliki 2000, OSS 2003, Abidi 2004) dans le but de définir leurs processus de recharge ainsi que les mécanismes de minéralisation des eaux.

La zone charnière entre ces deux bassins limitrophes, qui s'étend à une échelle plus étroite entre la Djeffara de Gabès Nord et la Skhira (extrême Sud de Sfax), demeure toutefois d'une grande ambiguïté du fait que la limite entre ces deux bassins limitrophes reste encore mal identifiée et correspond à une zone complexe où interfèrent plusieurs directions d'écoulement souterrain.

D'autre part, l'intensification de l'exploitation des eaux souterraines dans cette région pour des besoins domestiques, agricoles et surtout industriels a entrainé une baisse sensible du niveau piézomètrique et de ce fait un tarissement remarquable des exutoires naturels le long de la frange côtière.

Dans cette optique, ce travail a pour objectif de fournir une vue d'ensemble sur le fonctionnement hydrodynamique des aquifères limitrophes de Sfax

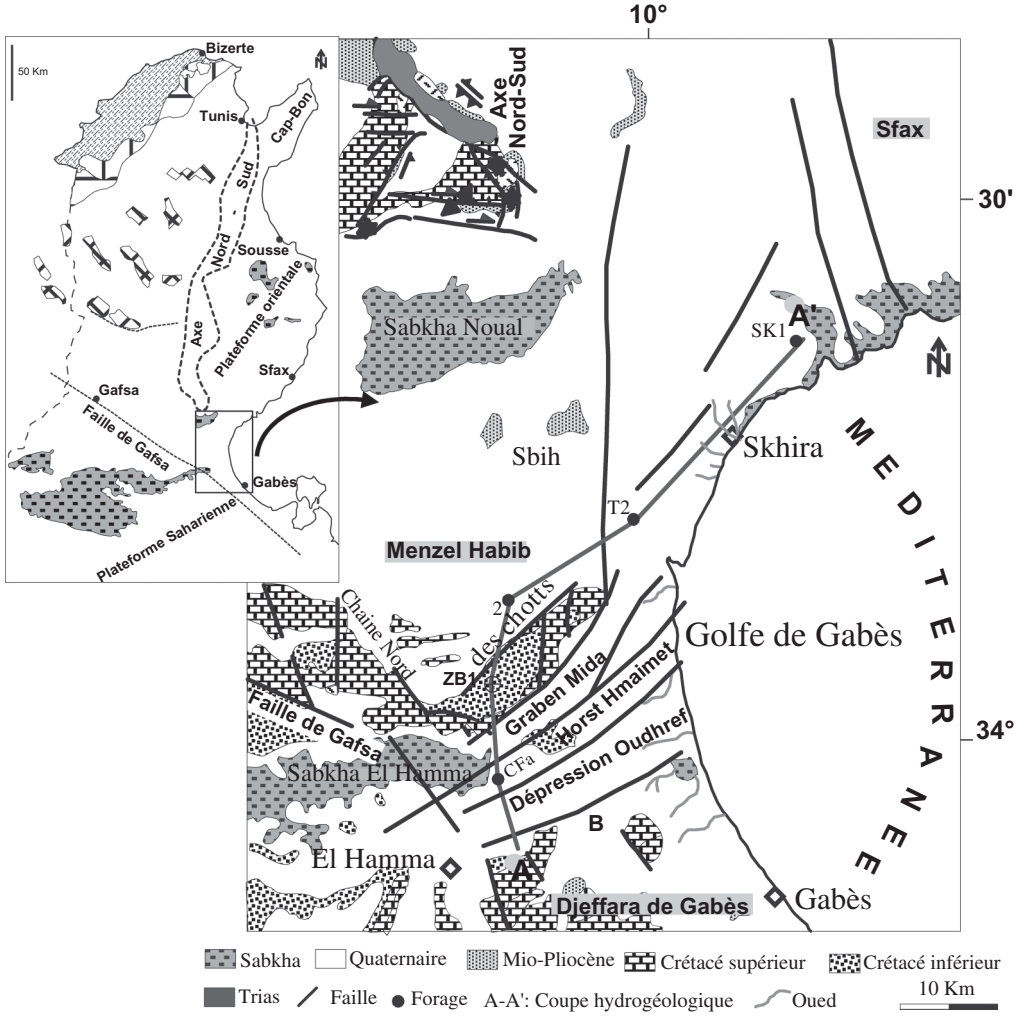

Fig. 1 Carte géologique de la zone d'étude.

Downloaded by [narjess Bencheikh] at 04:58 03 December 2012

et de la Djeffara de Gabès tout en mettant l'accent sur les particularités hydrogéologiques de la zone charnière entre ces deux aquifères. En effet, il s'avère que l'utilisation des traceurs naturels, chimiques et isotopiques, constituent des outils fiables et complémentaires à l'hydrogéologie classique pour mieux cerner ce type de problème.

CADRE GENERAL

La zone d'étude constitue une zone de passage entre le bassin de Sfax et la plaine de la Djeffara. Elle s'étend sur un linéaire côtier d'environ 130 km et se trouve limitée au Sud par la Djeffara de Gabès, à l'Ouest par la plaine de Menzel Habib et l'axe Nord-Sud, au Nord par le bassin de Sfax et à l'Est par la Méditerranée (Fig. 1). Elle couvre une superficie de 5600 km^2 environ et se trouve caractérisée par un climat aride à semi-aride. Les précipitations sont rares et irrégulières avec une moyenne annuelle de l'ordre de 170 mm. En effet, la proximité de la mer joue un rôle prépondérant dans la modération du climat. La température annuelle moyenne de l'air est de l'ordre de 19,8°C avec des températures moyennes de l'ordre de 11,3°C en janvier, et de 28,4°C pendant le mois d'août. Le régime thermique est simple et est marqué par l'alternance de deux saisons bien distinctes. L'évapotranspiration potentielle est de l'ordre de 1800 mm/an. Sur le plan hydrologique, les bassins exoréiques de Sfax et de la Djeffara de Gabès Nord présentent un réseau hydrographique diffus avec des oueds qui s'écoulent essentiellement vers la mer.

Dans un tel environnement, les eaux de surface restent insuffisantes face aux besoins domestiques, industriels et agricoles. Par conséquent, les eaux souterraines demeurent la principale source d'approvisionnement en eau dans la région.

CADRES GEOLOGIQUE ET HYDROGEOLOGIQUE

Comme la plupart des zones côtières de la Tunisie, la zone d'étude constitue une plaine monotone, ne présentant de reliefs que sur ses bordures occidentales. Les formations géologiques affleurantes s'étendent du Crétacé inférieur jusqu'au Quaternaire avec toutefois une lacune de sédimentation au cours du Paléocène et de l'Eocène (Burollet 1965, Mekrazi 1975) (Fig. 1).

Dans le but d'identifier la structure et la géométrie des différentes formations réservoirs existantes dans la région, on s'est basé sur la corrélation des coupes des forages pétroliers et hydrauliques qui nous ont permis de mieux cerner les passages latéraux des faciès et/ou des discontinuités entre les deux bassins (Fig. 2).

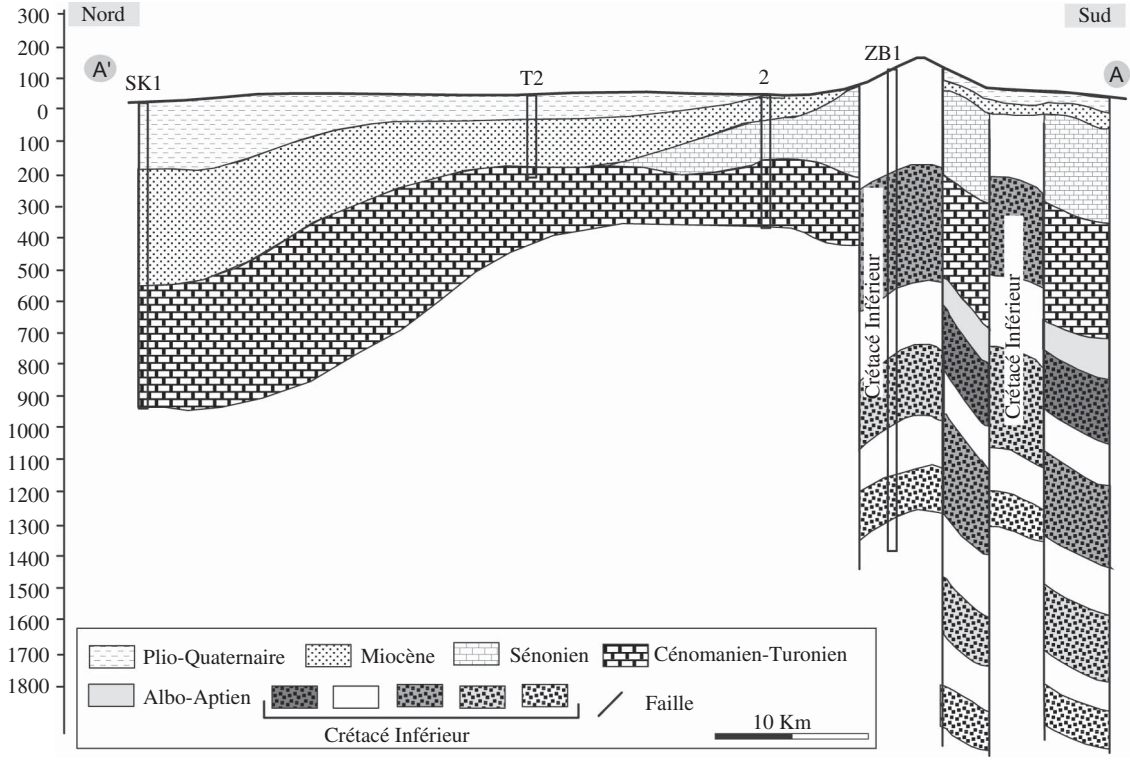

Fig. 2 Coupe hydrogéologique A′–A.

Downloaded by [narjess Bencheikh] at 04:58 03 December 2012

Affecté par un réseau de failles juxtaposées de direction SW–NE, l'ensemble de la bande côtière entre Gabès et Skhira montre une évolution en horsts et grabens qui sont, du Sud au Nord: la dépression de Oudhref, le horst Hmaimet, le graben Mida et l'anticlinal de Zemlet Beida. Cette compartimentation a provoqué la mise en contact de plusieurs niveaux aquifères de perméabilités différentes (Fig. 2). En effet, le Crétacé inférieur, essentiellement formé de calcaire, marne, grès et argile, affleure au niveau de l'anticlinal de Zemlet el Beida ainsi qu'au niveau du horst Hmaimet. Au niveau des structures en grabens (Graben Mida et dépression Oudhref), la série stratigraphique paraît plus complète: sur les formations continentaux du Crétacé inférieur viennent se superposer les calcaires dolomitiques du Crétacé supérieur sous le remplissage du Miocène et du Plio-quaternaire (Fig. 2).

Plus au Nord, la tectonique paraît relativement peu intense en se dirigeant vers Sfax, donnant un caractère de stabilité assez remarquable (Fig. 1). L'allure générale est celle d'un bassin sédimentaire synclinal à remplissage Miocène et Quaternaire sur les dépôts calcaires du Cénomanien-Turonien.

Dans cette étude, on va s'intéresser essentiellement aux sables continentaux du Miocène, qui abritent l'aquifère le plus exploité le long de la frange côtière de la région. Dans la partie Sud, ces sables miocènes, dont l'épaisseur ne dépasse pas 80 m, reposent par endroit sur les grès du Wealdien (Crétacé inférieur) ou sur les calcaires du Sénonien (Fig. 2). Cet aquifère est caractérisé par une perméabilité qui varie entre 2×10^{-5} et 4×10^{-4} m/s.

Vers le Nord, l'épaisseur du Miocène devient de plus en plus importante (300–400 m) montrant un intérêt hydrogéologique très important du fait qu'il renferme l'immense réservoir de Sfax. La perméabilité de cet aquifère est de l'ordre de 15×10^{-6} m/s.

Par conséquent, on peut noter que le passage du Sud au Nord est marqué par une grande variation latérale de lithologie et d'épaisseur des formations aquifères. D'autre part, l'affleurement de relief de Zemlet el Beida (ZB1), à cœur Crétacé inférieur, souligne une nette discontinuité hydraulique entre les deux bassins (Fig. 2).

MATERIEL ET METHODES

Vingt-quatre (24) échantillons ont été prélevés au cours d'une campagne menée en janvier 2008 (Fig. 3(a) et (b)). Les variables physico-chimiques (pH, conductivité, température) ont été mesurées *in situ*. Les concentrations en éléments majeurs ont

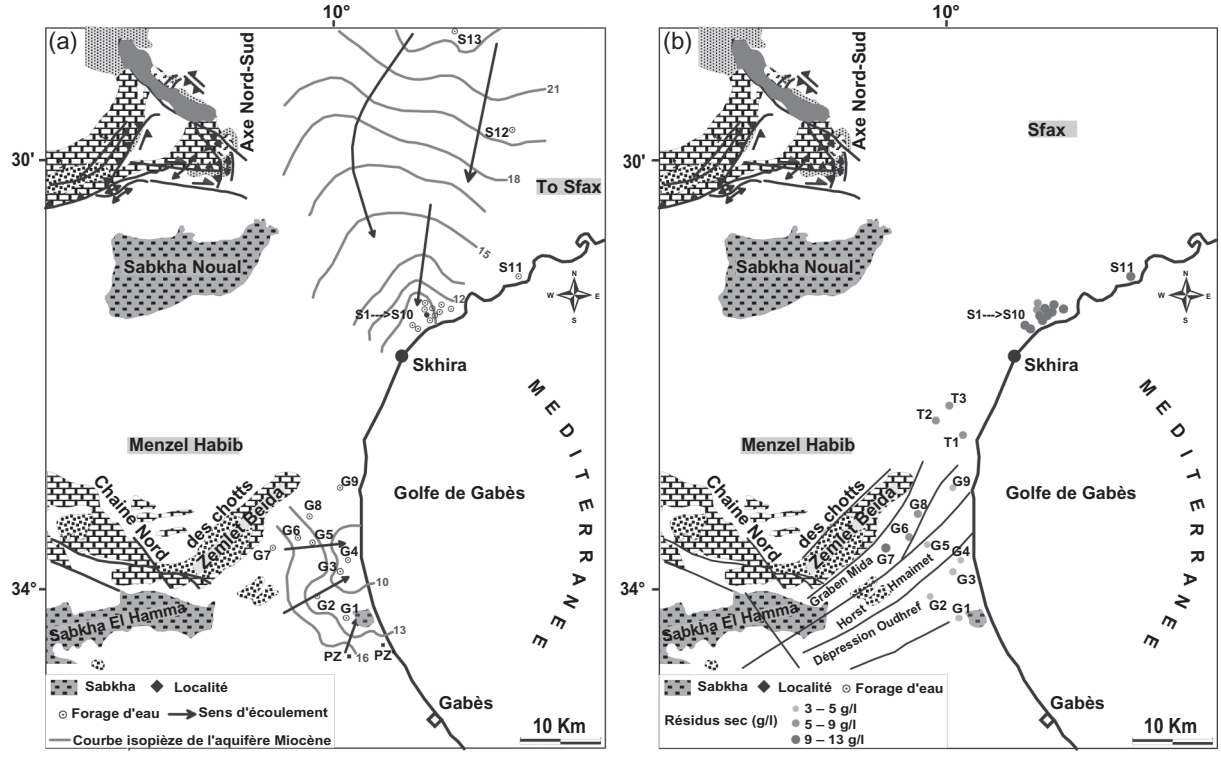

Fig. 3 (a) Carte piézométrique de la zone d'étude, et (b) carte de répartition de la minéralisation.

Downloaded by [narjess Bencheikh] at 04:58 03 December 2012

été déterminées par chromatographie ionique en phase liquide dans le laboratoire de radio-analyses et environnement (LRAE) de l'ENIS, Sfax, Tunisie. Les équilibres ioniques calculée témoignent d'une bonne qualité des analyses (l'équilibre ionique, exprimé en valeur absolue, est inférieur à 5%). Les activités en ^{14}C ont été mesurées par scintillation liquide sur des précipités de carbonate de baryum préparés sur le terrain. Les analyses chimiques ainsi que les activités en ^{14}C ont été effectuées au LRAE. Les teneurs en isotopes stables des eaux (^{18}O, ^{2}H) ont été déterminées au laboratoire d'hydrologie isotopique de l'Agence Internationale de l'Energie Atomique (AIEA) à Vienne. Les incertitudes analytiques sur les mesures sont de $\pm$0,2‰ pour ^{18}O et $\pm$2‰ pour ^{2}H.

RESULTATS ET DISCUSSIONS

Données piézomètriques

La carte piézométrique, établie dans le cadre de cette étude, montre que l'écoulement général des eaux souterraines est multidirectionnel, convergeant essentiellement vers la mer. Les zones de recharge de la nappe Miocène de Sfax sont localisées sur les bordures septentrionale et occidentale du bassin hydrogéologique (Maliki 2000). Les écoulements souterrains convergent globalement, suivant des directions Nord–Sud, vers la plaine de Skhira avant de rejoindre la mer. Dans le secteur de Gabès Nord, l'alimentation de la nappe Miocène se fait essentiellement par remontée de l'eau en provenance du Continental intercalaire à travers la faille d'El Hamma-Médenine au Sud (UNESCO 1972, Abidi 2001). Les écoulements des eaux souterraines de cette nappe convergent aussi vers la mer.

Salinité et faciès chimiques

Les résultats des analyses chimiques et isotopiques des points d'eau échantillonnés sont reportés dans le Tableau 1. La conductivité électrique varie, du Sud au Nord, de 5010 à 17 000 μS/cm, en relation avec les fortes teneurs en sels dissous (entre 3,2 et 13,6 g/L). En effet, il s'avère que la minéralisation des eaux de la nappe Miocène de Sfax augmente sensiblement en fonction de la profondeur de captage (S7: 13,6 g/L) ce qui est vraisemblablement dû à l'influence des aquifères sous-jacents dans l'acquisition de la charge saline dans cette région (Bencheikh 2006). En aval du bassin de Gabès Nord, la salinité des eaux de l'aquifère Miocène parait homogène, de l'ordre de 4 g/L. Toutefois, une augmentation locale de la salinité (G6, G7 et G8) a été remarquée dans la partie amont et semble résulter de l'effet des écoulements salés de la sabkha El Hamma à travers le graben El Mida (Mhamdi *et al.* 2006).

Le diagramme de Piper (Fig. 4), montre que les eaux de l'aquifère Miocène sont de type chloruré sodique dans la région de Sfax. Toutefois, vers la plaine de la Djeffara de Gabès Nord, le faciès des eaux devient plutôt de type mixte (Cl/SO_4-Ca/Na) à tendance chloruré sodique pour les eaux les plus minéralisées collectées en amont du bassin.

Mécanismes d'acquisition de la charge saline

L'étude des corrélations entre les concentrations des principaux éléments majeurs (Cl^-, Na^+, Ca^{2+}, SO_4^{2-}) et la minéralisation totale des eaux (Fig. 5) a permis de mieux cerner l'origine de la salinité des eaux souterraines. La présence d'une nette corrélation positive entre ces ions, particulièrement le chlorure et le sodium, et le résidu sec, traduit la participation de ces éléments à l'acquisition de la charge saline des eaux et témoigne de la présence d'une source commune de minéralisation qui ne peut être que la dissolution de l'halite. Ceci est vérifié par le diagramme de variation de Na^+ en fonction de Cl^- qui montre que la presque totalité des points d'eau s'alignent sur une droite de pente 1 (Fig. 6(c)), ainsi que par le calcul des indices de saturation, calculés par le diagramme WateqF (Plummer *et al.* 1976) (Tableau 1), qui montre un état de sous-saturation vis-à-vis de l'halite.

D'autre part, on peut noter un état de saturation à sous-saturation vis-à-vis du gypse et de l'anhydrite, et un état de saturation à sursaturation vis-à-vis des minéraux carbonatés. L'excès en Ca^{2+} et en Mg^{2+} observé dans les Fig. 6(a) et (b) peut être, dans un premier temps, interprété comme le résultat de la mise en solution de gypse libérant des quantités importantes de Ca^{2+}.

En effet, les teneurs en Mg^{2+}et en Ca^{2+} montrent une grande variabilité (de 115 à 643 mg/L pour Mg^{2+}, et de 368 à 784 mg/L pour Ca^{2+}) ce qui peut être expliqué par le fait que ces deux ions sont probablement impliqués dans les processus de dissolution-précipitation et de mise en solution de gypse, de la calcite et de la dolomite.

D'autre part, le déficit en calcium par rapport aux sulfates (Fig. 6(d)), caractérise la quasi-totalité des points d'eau. En revanche, ces mêmes points sont situés au dessus de la droite de la calcite, traduisant un excés en Ca^{2+}. Il est donc possible que la dissolution

Downloaded by [narjess Bencheikh] at 04:58 03 December 2012

Tableau 1 Données physico-chimiques des points d'eau échantillonnés (campagne de janvier 2008).

Point	pH	CE (µS/cm)	*T* (°C)	TDS (mg/L)	Niveau capté	Na (mg/L)	Cl (mg/L)	SO_4 (mg/L)	K (mg/L)	Ca (mg/L)	Mg (mg/L)	HCO_3 (mg/L)	CO_3 (mg/L)	Indice de saturation						δ^2H (‰)*	$\delta^{18}O$ (‰)	^{14}C (pcm)
														Cal.	Dol.	Gyp.	Hal.	An.	Ar.			
G1	7,6	5440	23,2	3940	60–100	525	988	1306	41	452	123	79	6	0,12	0,07	–0,12	–4,37	–0,34	–0,02	–59,9	–7,7	25,8 ± 1
G2	7,2	5010	25,1	3930	33–55	552	1136	1248	44	480	115	195	0	0,32	0,36	–0,28	–4,90	–0,50	0,18	–58,8	–7,8	
G3	7,4	5451	23,3	3960	65–88	575	1136	1363	24	384	153	189	0	0,38	0,67	–0,33	–4,88	–0,56	0,23	–53,7	–7,5	10,5 ± 2
G4	7,2	5920	21,9	4340	78–134	667	1278	1334	31	448	163	170	0	0,17	0,22	–0,30	–4,77	–0,53	0,03	–56,7	–7,7	
G5	7,2	5310	22,2	4360		519	1065	1560	16	528	163	146	0	0,17	0,14	–0,18	–4,95	–0,40	0,02	–32,3	–5,9	
G6	7,4	9130	22,5	7010		1127	2059	1800	16	784	153	164	0	0,54	0,68	–0,05	–4,36	–0,28	0,39	–37,5	–5,2	85 ± 1,7
G7	7,3	15460	21,6	11920		2840	3337	3816	90	480	422	213	0	0,20	0,64	–0,12	–3,79	–0,35	0,05	–35,1	–4,7	
G8	6,8	11680	21	8820	32–84	1644	2698	2496	50	656	288	170	0	–0,19	–0,44	–0,06	–4,09	–0,29	–0,34	–37,7	–5,4	57 ± 1
G9	7	5220	22,5	3750		455	994	1344	16	400	172	189	0	–0,01	–0,07	–0,32	–5,03	–0,55	–0,15	–54,5	–7,3	
T1	7,1	7800	24,2	5790	110–172	1035	1633	1874	24	464	268	116	18	–0,1	–0,11	–0,24	–4,49	–0,46	–0,25	–47,1	–6,6	
T2	7,2	7990	22,6	5800	134–188	1136	1775	1641	37	368	259	140	0	–0,03	0,10	–0,37	–4,41	–0,60	–0,18	–46,5	–7,0	
T3		8740		6500	150–200	1207	2059	2280	31	576	326	195	0	0,09	0,27	–0,13	–4,34	–0,35	–0,06	–44,7	–6,3	
S1	7,4	12000	26	9520	196–230	1863	2769	2544	21	384	643	207	0	0,31	1,19	–0,35	–4,05	–0,57	0,16	–39,3	–5,8	
S2				9790		2240	3399	2527	19	703	290	85	12	–0,23	–0,49	–0,07	–3,88	–0,29	–0,37			
S3	7,5	12000		9060		1851	2840	2976	35	496	451	189	0	0,45	1,19	–0,16	–4,04	–0,38	0,30	–41,3	–6,1	
S4				10800		2658	4101	2333	20	743	293	109	18	–0,1	–0,25	–0,10	–3,73	–0,32	–0,24			
S5	7,3	12000		8900	216–239	1897	2698	3860	25	512	422	189	0	0,22	0,70	–0,06	–4,06	–0,28	0,08	–36	–5,8	
S6	7,3	13000	27,6	10340	215–256	2012	2840	2976	28	640	432	122	0	0,20	0,60	–0,07	–4,01	–0,28	0,06	–40,8	–6,2	
S7	7	17000	29,3	13640	272–308	2875	6390	1728	27	704	496	353	0	0,43	1,12	–0,32	–3,53	–0,52	0,29	–42,4	–6,2	19,5 ± 2,9
S8	7,2	14000	28,3	10490	226–262	2265	3266	2736	33	480	486	189	0	0,18	0,75	–0,24	–3,90	–0,44	0,04	–36,5	–5,7	
S9				9230		2167	3338	2225	14	643	255	128	12	–0,07	–0,20	–0,14	–3,90	–0,35	–0,22			
S10	7,3	12000	28,4	8860		1897	2627	2784	16	416	537	237	0	0,32	1,14	–0,28	–4,07	–0,48	0,18	–43,4	–5,6	12,7 ± 1,7
S11				9670		2194	3395	2706	15	627	291	91	6	–0,25	–0,50	–0,09	–3,89	–0,31	–0,40			

CE: Conductivitéélectrique (µS/cm); *T*: Température; TDS: Résidu sec (mg/L); Cal.: Calcite; Dol.: Dolomite; Gyp.: Gypse; Hal.: Halite; An.: Anhydrite; Ar.: Aragonite

* ‰ V SMOW.

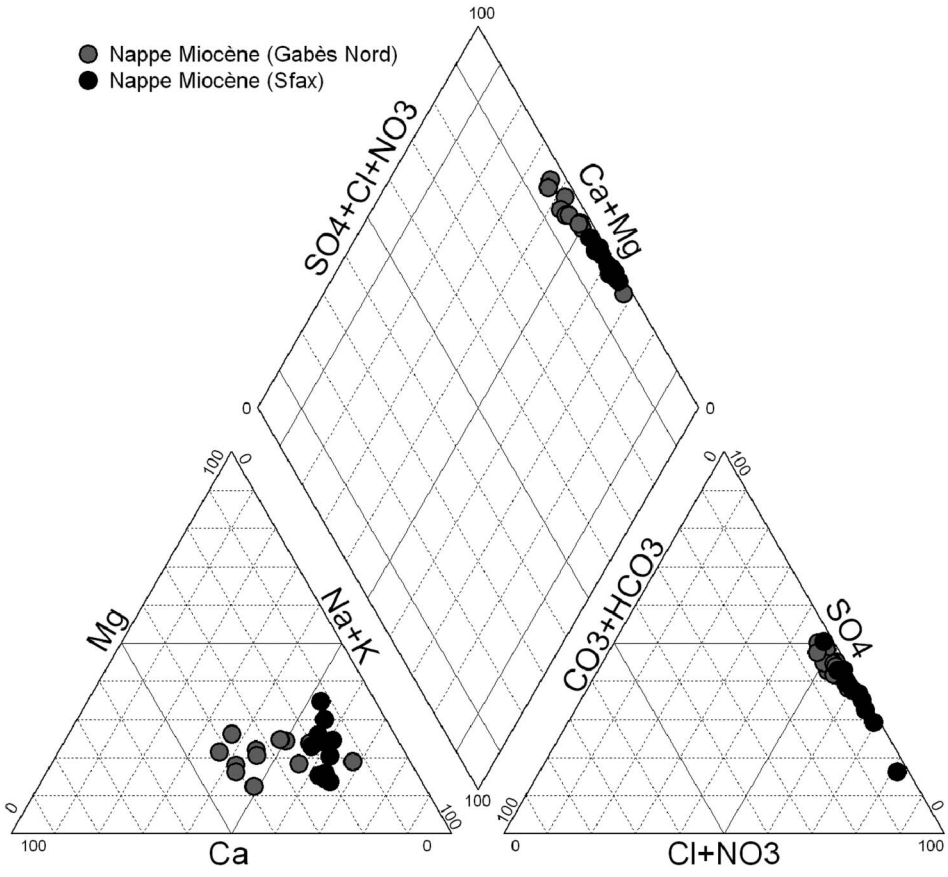

Fig. 4 Diagramme de Piper: faciès chimiques des eaux profondes de la zone d'étude.

du gypse fournit plus d'ions Ca^{2+} que ne peut en consommer la précipitation de la calcite, ou la fixation de calcium (ou de magnésium) par les argiles.

HYDROLOGIE ISOTOPIQUE

Les teneurs en isotopes stables des points d'eau échantillonnés dans le cadre de cette étude présentent une large gamme de variation (entre –59,9 et –32,3‰ pour ^{2}H et entre –7,8 et –4,7‰ pour ^{18}O) (Tableau 1).

Le diagramme de variation de ^{2}H en fonction de ^{18}O (Fig. 7) montre que la majorité des points d'eau prélevés sont situés à proximité des droites météoriques mondiales (DMM: $\delta^{2}H = 8\delta^{18}O + 10$) (Craig 1961) et de Sfax (DMS: $\delta^{2}H = 8\delta^{18}O + 13{,}5$) (Maliki 2000, Celle *et al.* 2001) ce qui exclut toute influence évaporatoire sur ces eaux. Les valeurs les plus enrichies sont enregistrées au niveau des forages implantés dans la partie amont du bassin de Gabès Nord (G5, G6, G7 et G8) ce qui confirme la présence d'une recharge locale récente matérialisée à partir du relief de Zemlet El Beida à l'Ouest. Ceci est vérifié aussi par les fortes activités en ^{14}C de ces eaux (G6: 85%). Vers l'aval du bassin, les eaux se caractérisent plutôt par les teneurs en isotopes lourds les plus basses ainsi que par des faibles activités en ^{14}C (G3: 10,5% et G1: 25,8%). Cet appauvrissement semble être le résultat de l'effet de mélange avec les eaux plus anciennes du Continental Intercalaire, dont la composition isotopique (–61,2 pour ^{2}H et –8,2‰ pour ^{18}O) (Trabelsi *et al.* 2008) est caractéristique des eaux paléoclimatiques rencontrée au Sud tunisien (Fontes *et al.* 1983, Edmunds *et al.* 2003). Bien que la distribution géographique des activités en ^{14}C semble correspondre à une simple circulation des eaux des aires de recharge vers l'exutoire, elle révèle, en tenant compte de la complexité structurale qui caractérise le bassin de Gabès Nord, la présence de deux masses d'eau d'origines différentes.

Dans la région de Sfax, les teneurs en isotopes stables des eaux paraissent plus homogènes. Elles s'étendent entre –6,1 et –5,6‰ pour ^{18}O et entre –43,4 et –36‰ pour ^{2}H. En effet, cette dissemblance entre les teneurs en isotopes stables des eaux de la nappe Miocène le long de la frange côtière peut être attribuée à la variabilité des zones de recharge qui caractérise la région. Cette variabilité confirme une autre fois la présence d'une nette discontinuité hydraulique entre la Djeffara de Gabès et le bassin de Sfax.

Downloaded by [narjess Bencheikh] at 04:58 03 December 2012

Downloaded by [narjess Bencheikh] at 04:58 03 December 2012

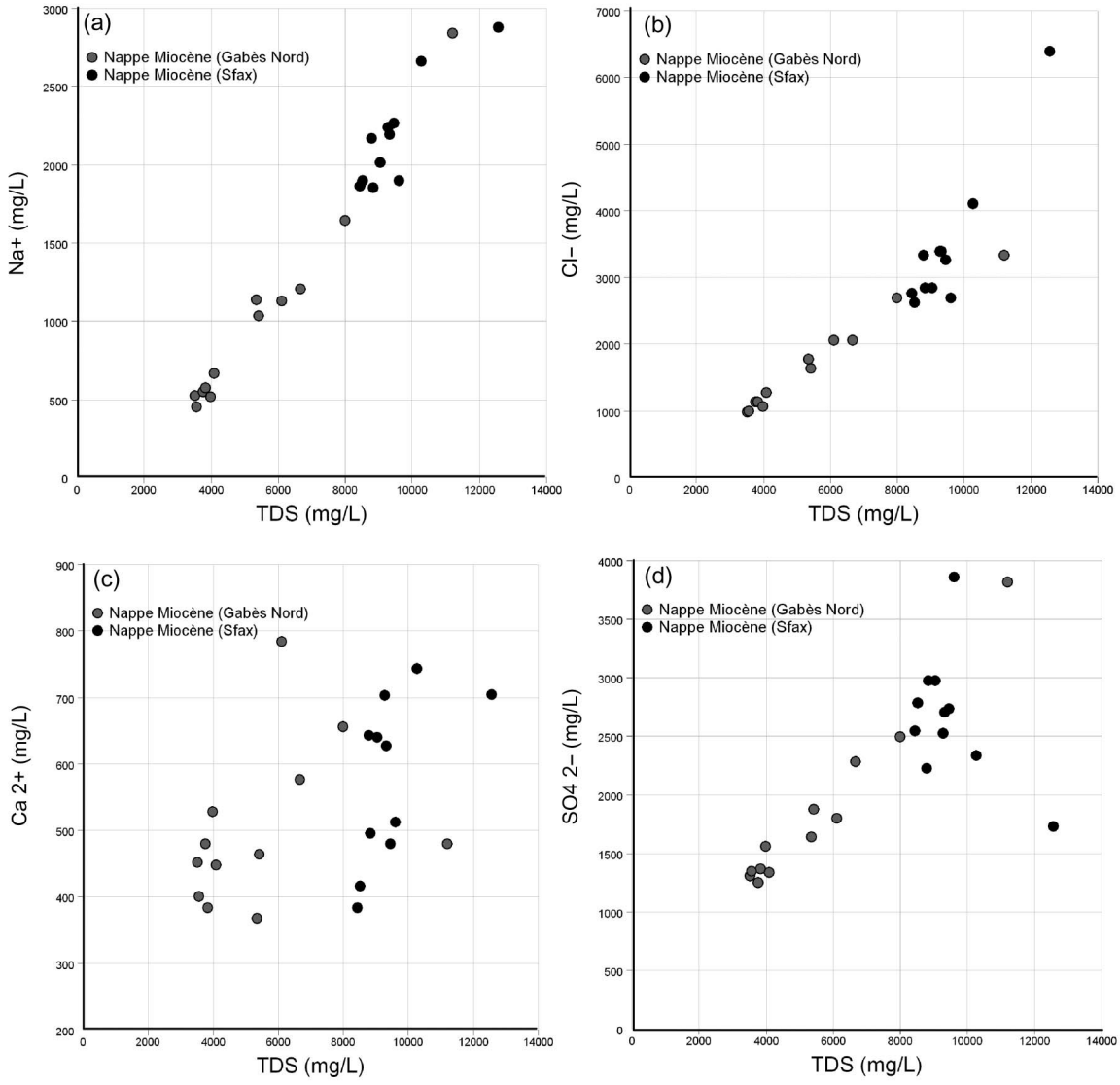

Fig. 5 Variation des concentrations en éléments majeurs en fonction de la salinité des eaux (TDS).

La représentation de la teneur en ^{18}O en fonction des concentrations en chlorures (Fig. 8) montre qu'il n'ya pas, globalement, de dépendance nette entre les deux variables. En effet, les eaux de la partie avale de Gabès Nord (G1, G2, G3, G4 et G9) se caractérisent par de faibles concentrations en chlorures et les teneurs en isotopes stables les plus basses. Cet appauvrissement ne peut être que le résultat de mélange avec les eaux du Continental Intercalaire. Toutefois, l'augmentation de la teneur en ^{18}O en fonction de la concentration en chlorure, particulièrement en amont du bassin reflète l'effet de l'évaporation dans la salinisation des eaux.

Dans la région de Sfax, on peut toujours noter une homogénéité quant aux teneurs en isotopes stables et en chlorures des eaux.

CONCLUSION

L'application des traceurs chimiques et isotopiques à l'étude des eaux souterraines de la frange côtière entre la Djeffara de Gabès et Sfax a permis d'apporter quelques éléments de réponse concernant le fonctionnement hydrodynamique des aquifères profonds dans cette région.

Les analyses chimiques confirment que les eaux de la nappe Miocène de Sfax, de type chloruré

Downloaded by [narjess Bencheikh] at 04:58 03 December 2012

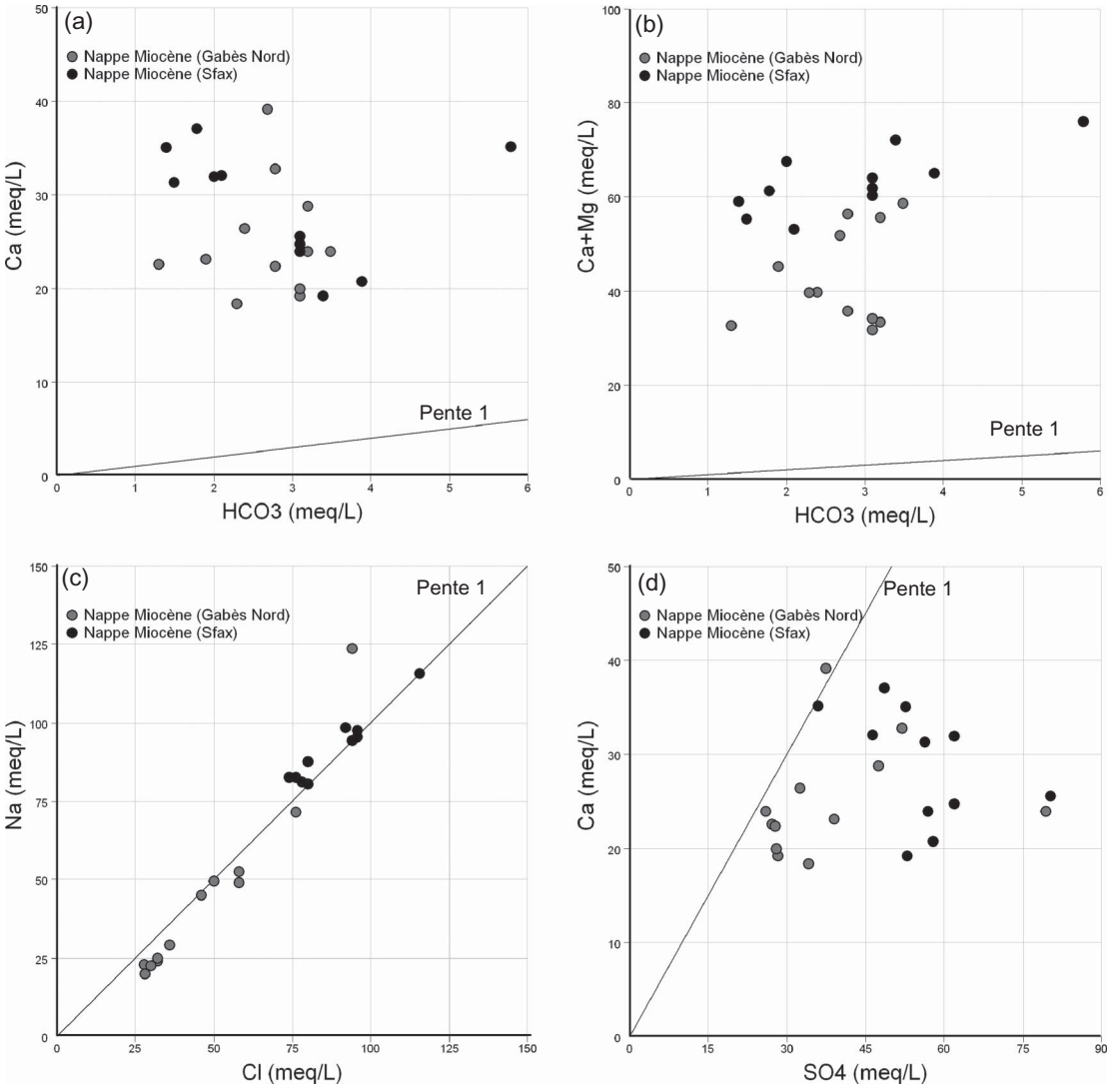

Fig. 6 Relations entre éléments majeurs des eaux souterraines: (a) Ca/HCO_3, (b) $Ca+Mg/HCO_3$, (c) Na/Cl, et (d) Ca/SO_4.

sodique, acquièrent leur salinité à partir des aquifères sous-jacents. Dans la plaine de Gabès Nord, les eaux du Miocène sont plutôt de type mixte à tendance chloruré sodique. Cette hétérogénéité de faciès semble résulter de l'effet des écoulements salés de la sabkha El Hamma dans la minéralisation des eaux en amont du bassin.

En effet, il s'avère que la dissolution de l'halite demeure la principale source de salinisation des eaux de la nappe Miocène. Ceci est en parfait accord avec l'état de sous-saturation des eaux vis-à-vis de ce minéral.

L'étude isotopique a permis de fournir des informations capitales sur l'origine des masses d'eau et leurs éventuels mélanges. En effet, les teneurs en isotopes stables ont permis l'identification d'une eau relativement ancienne à l'exception de quelques poches de recharge récente matérialisées à partir du relief de Zemlet El Beida en amont du bassin de Gabès Nord. Les eaux collectées en aval du bassin de Gabès Nord, provenant d'une recharge ancienne, montrent les valeurs les plus appauvries en isotopes lourds.

Par conséquent, on peut noter que le passage du Sud au Nord le long de la frange côtière est marqué par une grande variation latérale de lithologie et d'épaisseur des formations aquifères ce qui reflète des caractéristiques géochimiques distinctes (origines et faciès) suggérant ainsi une nette discontinuité hydraulique entre les deux bassins.

Remerciements Nous remercions les équipes du laboratoire de radio-analyses et environnement de l'ENIS (Tunisie) et le laboratoire de l'AIEA à Vienne

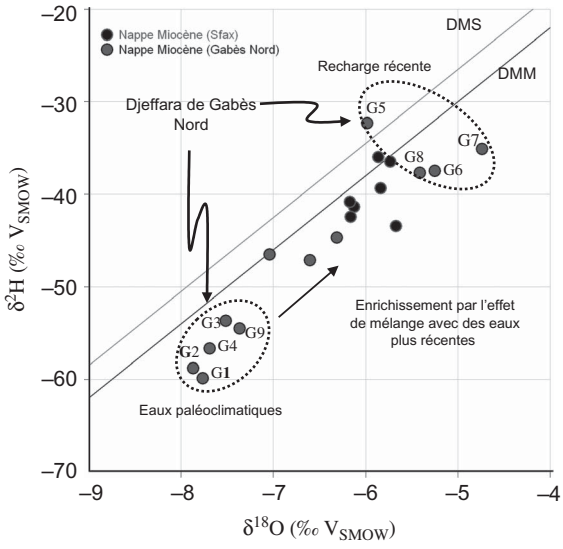

Fig. 7 Relation $\delta^{18}O/\delta^{2}H$ des eaux souterraines de la zone d'étude.

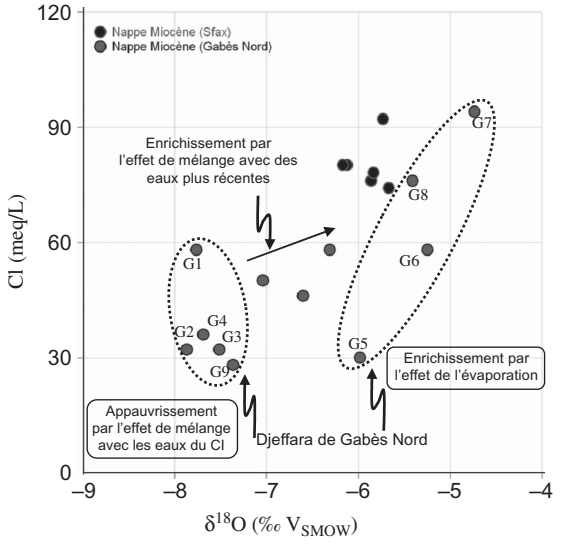

Fig. 8 Relation $\delta^{18}O/Cl$ des eaux souterraines de la zone d'étude.

(Autriche) pour le temps qu'ils ont consacré à l'analyse des échantillons. Nous remercions aussi tout le personnel des CRDA de Sfax et de Gabès pour leur aide au cours des campagnes d'échantillonnage.

REFERENCES

Abidi, B., 2001. La nappe du Continental Intercalaire du Sud-Est tunisien: analyse de la situation actuelle. Tunis: Direction Générale des Ressources en Eau.

Abidi, B., 2004. Caractéristiques hydrodynamiques et géochimiques de la Djeffara de Gabès. Tunis: Direction Générale des Ressources en Eau.

Bencheikh, N., 2006. *Liaisons hydauliques entre le Sud de la nappe profonde de Sfax et le Nord de la Djeffara de Gabès: Origine et mécanismes de contamination des eaux souterraines*. Mémoire de mastère, Laboratoire de Radio-Analyses et Environnement, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, Tunisie.

Burollet, 1965. *Contribution à l'étude stratigraphique de la Tunisie centrale*. Imp. Larapide, 1956.

Craig, H., 1961. Isotopic variations in meteoric water. *Science*, 133, 1702–1703.

Celle, H., *et al*., 2001. Caractérisation isotopique des pluies en Tunisie. Essaie de typologie dans la région de Sfax. *Comptes Rendus de l'Académie des Sciences, Série IIA, Paris*, 333, 10, 625–631.

Daniel, J.M., 1962. Etude hydrogéologique des nappes du Sud tunisien (Région de Sidi Mhedeb—la Skhira). Tunis: Direction Générale des Ressources en Eau.

Edmunds, W.M., *et al*., 2003. Groundwater evolution in the Continental Intercalaire aquifer of southern Algeria and Tunisia: trace element and isotopic indicators. *Applied Geochemistry*, 18, 805–822.

Fontes, J.C., *et al*., 1983. Paléohydrologie isotopique de l'wadi el Akarit (Sud Tunsien) au Pléistocène et à l'Holocène. *Paleogeograpy, Paleoclimatology, Paleoecology*, 43, 41–61.

Illy, 1968. Etude hydrogéologique préliminaire de la région de Sidi Mhedeb, Tunis: Direction Générale des Ressources en Eau (DGRE).

Maliki, A., 2000. *Etude hydrogéologique, hydrochimique et isotopique de la nappe profonde de Sfax (Tunisie)*. Thèse de Doctorat, Université de Sfax, Tunisie.

Mamou, A., 1982. Géologie et hydrogéologie du bassin versant de Oued El Akarit (Tunisie). Tunis: Direction Générale des Ressources en Eau.

Mamou, A., 1990. *Caractéristiques et évaluation des ressources en eau du Sud tunisien*. Thèse de Doctorat, Es Science, Université Paris Sud.

Mekrazi, F., 1975. *Contribution à l'étude géologique et hydrogéologique de la région de Gabès Nord*. Thèse de Doctorat, Université de Tunis.

Mhamdi, A., *et al*., 2006. Evaluation de la qualité de l'eau par application de la méthode géoélectrique: exemple de la plaine d'El Mida – Gabes Nord (Sud tunisien). *Comptes rendus Geoscience, Paris*, 338, 16, 1228–1239.

OSS (Observatoire Sahara et Sahel), 2003. *Système aquifère du Sahara Septentrional: une conscience de bassin*. Volume 2, *hydrogéologie*. Observatoire Sahara et Sahel. http://www.csf-desertification.org/index.php/bibliotheque/doc_details/39-bied-charreton-marc--2003-le-systeme-aquifere-du-sahara-septentrional-qune-conscience-de-bassin

Plummer, L.N., Jones, B.F., et Truesdell, A.H., 1976. WATEQF, a Fortran IV version of WATEQ, a computer program for calculating chemical equilibrium of natural waters. *US Geological Survey Water Resources Investigation Report 76*.

Trabelsi, R., *et al*., 2008. Quantifying regional groundwater flow between Continental Intercalaire and Djeffara aquifers in southern Tunisia using isotope methods. *Environmental Geology*, doi:10.1007/s00254-008-1503-x.

UNESCO, 1972. *Etude des ressources en eau du Sahara septentrional*. Paris: UNESCO. http://unesdoc.unesco.org/images/0000/000015/001564fb.pdf

Downloaded by [narjess Bencheikh] at 04:58 03 December 2012