

## Etude hydrogéologique dans la sebkha d'Oum El Khialate (Sud-Est de la Tunisie)

Mohamed Ali TAGORTI<sup>1</sup>, Rihab GUELLALA<sup>2</sup>, Elhoucine ESSEFI<sup>3</sup>

1. LR : Biologie Intégrative et Valorisation (BOLIVAL), Higher Institute of Biotechnology of Monastir, University of Monastir, Tunisia.
2. Laboratoire de Géoressources, CERTE, Pôle Technologique de Borj Cédria, Université de Carthage, 8020 Soliman, Tunisie.
3. Higher Institute of Applied Sciences and Technology of Gabes, University of Gabes, Tunisia. [mohamedali.tagorti@gmail.com](mailto:mohamedali.tagorti@gmail.com)

### Résumé :

Le sel de sulfate de soude ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) est un minéral très demandé dans le monde pour ces diverses utilisations telles que l'alimentation du bétail, la fabrication de verre, les détergents, etc. A ce propos, la sebkha El Ghine-Oum El Khialate, située dans le Sud-Est de la Tunisie, loge une nappe de saumures très riche en sulfate de soude. Cette étude constitue une évaluation hydrogéologique approfondie de la sebkha en vue d'une exploitation optimale des réserves de sulfate de soude.

L'étude a été basée sur le traitement de 43 forages couvrant la totalité de la sebkha El Ghine-Oum El Khialate. Les résultats de prospection ont montré que le réservoir de cette sebkha est constitué de silts, d'argiles gypseuses, de gypse, de mirabilite solide, et rarement de lentilles de sable, est épais au maximum de 10 m. Il s'agit d'une nappe libre de saumures reposant sur un écran d'argiles triasiques. L'absence d'accidents profonds et majeurs indique l'indépendance de l'écoulement de cette nappe de celui des autres nappes d'eau identifiées dans la région.

Le niveau piézométrique est situé à une profondeur de l'ordre de 0,6 à 1,7 m. Le suivi ponctuel des variations de ce niveau rend compte de fluctuations peu importantes (2 à 3 cm) entre le jour et la nuit. Par contre, les variations saisonnières sont très importantes et sont directement liées à la balance précipitation/évaporation

L'écoulement à l'échelle du bassin se fait du Nord-Ouest et du Nord vers le Sud Est. Il s'effectue vers les dépressions les plus basses du bassin qui constituent les principaux lieux d'exhaure et d'évaporation et où se développent des croûtes de sels très riches en mirabilite après chaque période de pluie. Les débits de la nappe des saumures varient de 0.5 à 2 m<sup>3</sup>/h, les transmissivités déterminées à partir des essais de pompage sont de 10<sup>-5</sup> à 10<sup>-4</sup> m<sup>2</sup>/s et les coefficients d'emmagasinement sont de l'ordre de 10<sup>-4</sup>. Ces caractéristiques hydrodynamiques médiocres sont reliées à la faible porosité du réservoir qui ne dépasse pas 15%. Elles sont cohérentes avec les dépressions évaporitiques naturellement destinées à la concentration des sels.

**Mots-clés :** Tunisie, Sebkha Oum El Khialate, Hydrogéologie, Sulfate de soude.

**Abstract:**

*The sodium sulphate ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) is a mineral in high demand in the world for its various uses such as animal feed, glass production, detergents, etc. The sabkhet Ghine El Oum El Khialate, located in the Southeast of Tunisia contains a brine water table highly rich in sodium sulphate. This study corresponds to a hydrogeological evaluation of the sebkha for an optimal use of sodium sulphate reserves. It is based on the treatment of 43 boreholes covering the totality of sebkha. The prospection results show that sabkha reservoir consists of gypsum clay, gypsum, solid mirabilite, and rarely lenses of sand of 10m thick. It is an unconfined aquifer based on a Triassic clays screen. The absence of deep tectonic accidents indicates the independence of this aquifer from the others identified in the region. The water table is located at the depth of 0.6 to 1.7 m. The following-up of the variation of this level indicates a slight day-night fluctuation of 2 to 3 cm. On the other hand, the seasonal fluctuation is more important due to the direct relation with rain/evaporation balance. At the level of the basin, the water flow is oriented from the northwest and north to the southeast. It is carried out towards the less elevated depressions of the basin, which represent the principal sites of drainage and evaporation where crusts very rich with mirabilite are developed after each rainy period. The aquifer flow varies between 0.5 and 2 m<sup>3</sup>. The transmissivity values determined after pumping essays are in the range of 10<sup>-5</sup> and 10<sup>-4</sup>. Values of storage coefficient are in the range of 10<sup>-4</sup>. These bad hydrodynamic characteristics are related to the weak porosity that never exceeds 15%. They are coherent with evaporitic depressions meant for salt concentration.*

**Keywords:** *hydrogeology, sodium sulphate, sebkha Oum El Khialate, Tunisia.*

**1. Introduction**

La consommation mondiale en sulfate de soude s'élève à plus de 6.10<sup>6</sup> tonnes pour les besoins de l'industrie (détergents 70%, alimentation animale 7%, industrie du verre 10%, tanneries et textiles 5%, et autres industries 8%). Le sulfate de soude représente 65% de la production de l'Europe de l'Ouest, pratiquement la totalité de la production asiatique, mais seulement 35% en Amérique du Nord, et 25% en Amérique Latine. Ce produit est très utilisé pour ses propriétés de fluidifiant et d'antimottant. A titre d'exemple, les lessives contiennent en général de 5 à 30% de sulfate de soude.

La moitié de la production du sulfate de soude provient de la synthèse industrielle, et pour des raisons de conséquences environnementales, le produit naturel prévaut sur les variétés synthétiques de sulfate de soude., les détergents, les verreries et l'industrie pharmaceutique exigent les qualités les plus pures de sulfate de soude (plus de 98.5%), par contre d'autres applications industrielles (papier par exemple) peuvent admettre des qualités de moindre importance (95-97%).

Le sulfate de soude des gisements naturels ne satisfait qu'à la moitié de la consommation mondiale. Il s'agit soit de gisements solides anciens (Sulquisa en Espagne), soit de saumures connées (Kara-Bogaz-Gol au Turkmenistan), soit encore de plans d'eaux enrichis en sulfate de soude (Lac Quarun Egypte, Lacs américains, fjords et lacs canadiens,...). Pour la Tunisie, la sebkha El Ghine-Oum El Khialate a été identifiée depuis les années quarante comme source potentielle de chlorure de soude naturelle. Toutefois, cette hypothèse n'a pas été fouillée pour évaluer son exploitation industrielle.

La revue de littérature montre que plusieurs chercheurs se sont intéressés à l'étude de la sebkha El Ghine-Oum El Khialate notamment SOLIGNAC (1942), PERTHUISOT (1976), MAMOU (1983), INCOFO (1999) et ALKIMIA (2007). Les travaux de recherche ont porté principalement sur les aspects hydrogéologiques et minéralogiques du site en se basant sur un nombre réduit de forages d'observation. Ainsi, les études disponibles restent fragmentaires et constituent une description sommaire et limitée.

La réalisation d'une étude hydrogéologique approfondie basée sur une couverture totale de la zone d'étude est nécessaire à plusieurs égards :

- la compréhension de l'alimentation en eaux météoriques et du ruissellement riche en sels,
- l'évaluation du régime d'extraction des saumures, notamment le chlorure de soude, en cas d'exploitation par pompage,
- l'étude des perturbations prévisionnelles de la qualité chimique des saumures à exploiter par le pompage,
- la compréhension des liens possibles que la nappe de saumures pourrait avoir avec les nappes de la région et autres émergences d'eaux profondes,
- l'évaluation de l'évaporation et de la transpiration sur le rabattement de la nappe, son écoulement et sa concentration en sels.

Ce travail consiste en une étude hydrogéologique approfondie de la sebkha El Ghine-Oum El Khialate à fin de proposer un plan directeur portant sur l'exploitation optimale des chlorures de soude ce gisement.

## **2. Présentation de la zone d'étude**

La sebkha d'Oum El Khialate est située dans le Sud-Est de la Tunisie à environ 50 km à l'Est de la ville de Tataouine et à 90 km du port maritime de Zarzis (figure 1). Elle couvre une superficie de 75 km<sup>2</sup> et correspond à un bassin à remplissage quaternaire qui loge une nappe de saumures très riche en sulfate de soude (Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

La nappe de saumures de sebkha El Ghine-Oum El Khialate est une nappe libre, reposant sur un écran d'argiles triasiques de 40 à 50 m d'épaisseur. Cette nappe est logée dans des dépôts quaternaires constitués de silts, d'argiles gypseuses, de gypse, de mirabilite solide, et rarement de lentilles de sable. L'épaisseur totale de cette nappe est variable et ne dépasse guère les 10 m.

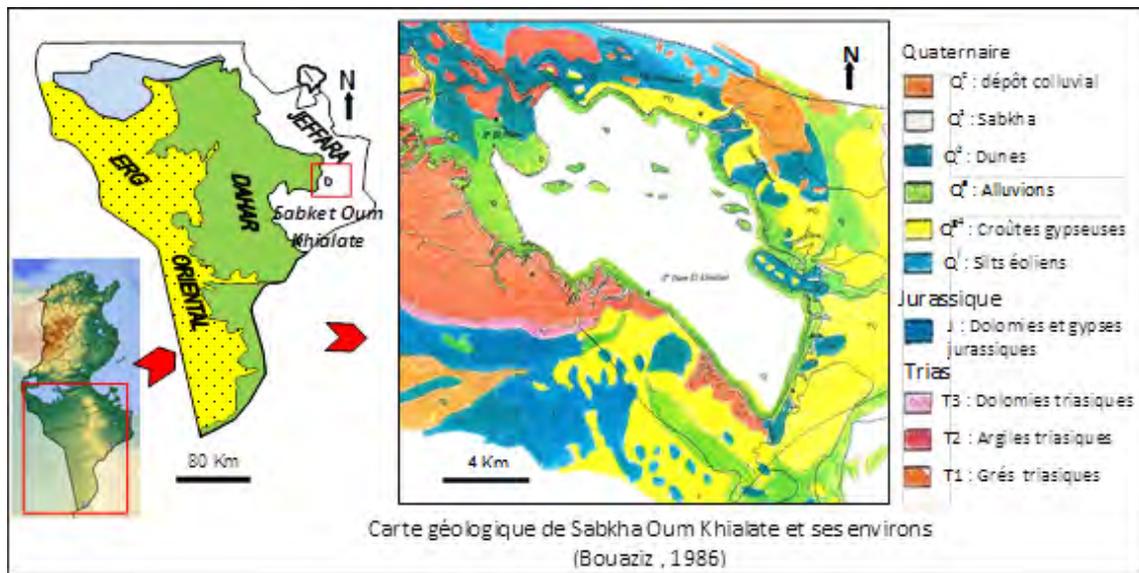


Figure 1. Localisation de la zone d'étude de sebkha El Ghine-Oum El Khialate (Sud-Est de la Tunisie).

### 3. Caractéristiques de l'écoulement

La profondeur des saumures dans la sebkha varie entre 0,6 à 1,7 m. Le suivi des variations de cette profondeur montre sous l'évaporation des fluctuations peu importantes (2 à 3 cm) entre le jour et la nuit avec une légère mise en charge de nuit. Par contre, les variations saisonnières sont très importantes et sont directement liées à la balance précipitation/évaporation.

L'écoulement à l'échelle du bassin se fait du Nord-Ouest et du Nord vers le Sud Est (figure 2). Il s'effectue vers les dépressions les plus basses du bassin qui constituent les principaux lieux d'exhaure et d'évaporation et où se développent des croûtes de sels très riches en mirabilite après chaque période de pluie (TAGORTI *et al.*, 2013).

L'absence d'accidents profonds et majeurs peut indiquer une communication limitée entre la nappe des saumures et les nappes les plus profondes identifiées dans la région : (i) nappe des carbonates du Trias supérieur, (ii) nappes plus profondes du Trias gréseux (inférieur) et (iii) nappes du réservoir permien.

### 4. Paramètres hydrodynamiques de la nappe de saumures

Des essais de pompage de longue durée sont réalisés pour la reconnaissance des paramètres hydrodynamiques du réservoir : débit, transmissivité de l'aquifère et le coefficient d'emmagasinement dans le cas où un piézomètre a pu être exécuté près du puits de pompage (figure 3).

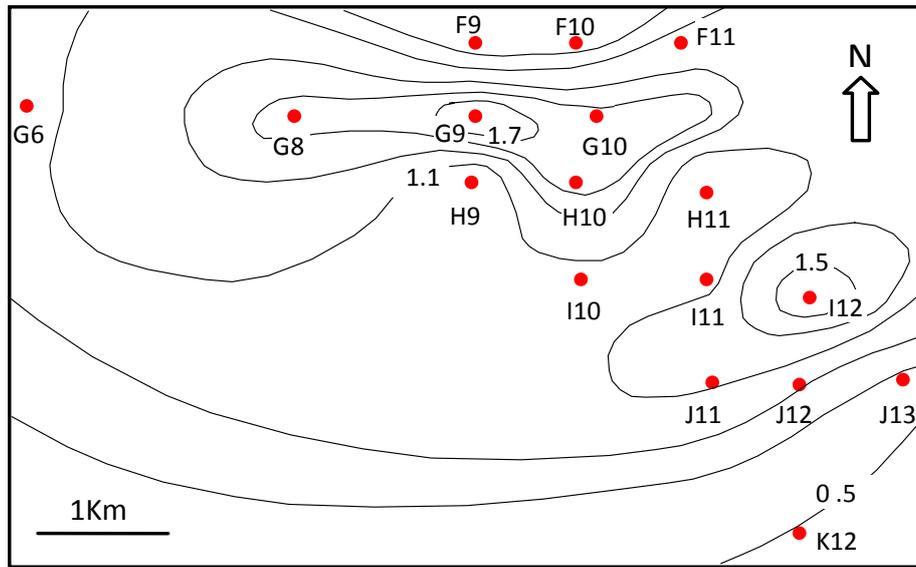


Figure 2. Carte des profondeurs de la nappe de la sebkha Oum El Khialate.

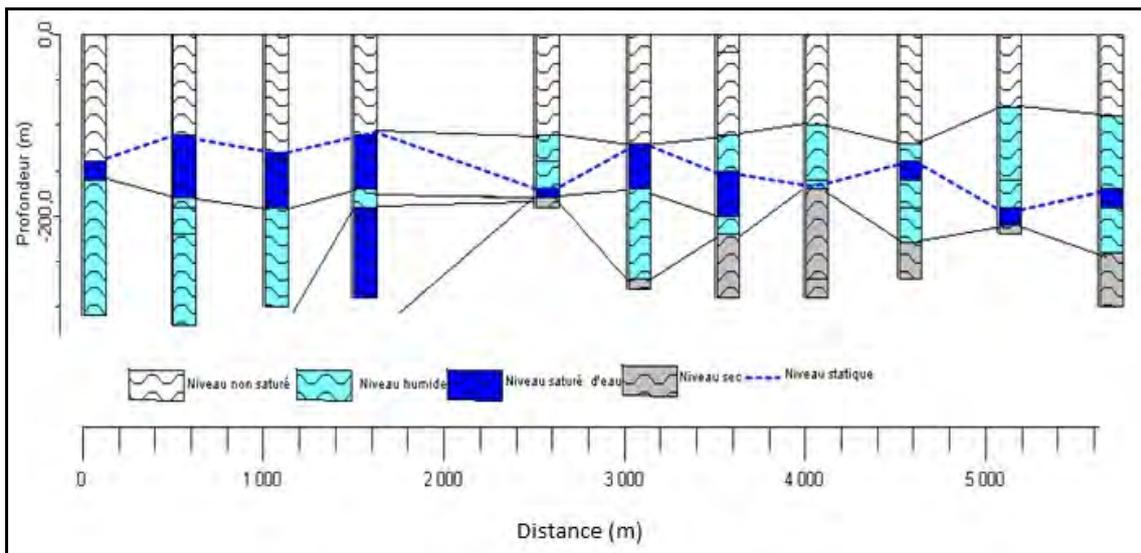


Figure 3. Corrélation E-W des niveaux de saumures rencontrés dans la "nappe" de la sebkha Oum El Khialate.

Les essais ont été conduits sur les différents puits avec l'exécution d'un essai de rabattement et d'un essai de remontée (figure 4). Les rabattements dus au pompage (échelle linéaire) sont portés en fonction des temps en secondes (échelle logarithmique). La droite moyenne représente l'équation 1 :

$$s = \frac{0,183Q}{T} \log\left(\frac{2,25Tt}{x^2 S}\right) \quad (1)$$

$s$  : rabattement mesuré dans un piézomètre (m),

$Q$  : débit de pompage constant ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),

## Thème 2 – Dynamique sédimentaire

$T$  : transmissivité ( $m^2/s$ ),

$S$  : coefficient d'emmagasinement (-),

$t$  : temps écoulé depuis le début du pompage (s),

$x$  : distance du piézomètre à l'axe du puits (m). Cette valeur n'est pas contraignante au cas où le puits en essai n'a pas été muni de piézomètre.

La droite moyenne coupe l'axe des temps à un point  $t_0$  représentant le temps fictif de début de pompage, quand l'aquifère commence à être sollicité.

Sur la droite de rabattement (figure 4), la pente  $p$  est calculée par la mesure graphique du rabattement au cours d'un module logarithmique (droite de rabattement a). Par exemple dans le sondage G10 (figure 4), la pente est 2.89.

La Transmissivité ( $T$ ) est calculée à partir de l'équation 2 :

$$T = \frac{0,183 Q}{p} \quad (2)$$

Le coefficient d'emmagasinement ( $S$ ) peut être approché dans le terme logarithmique de l'expression 1, ou mieux à partir du temps  $t_0$  lorsqu'il peut être déterminé sur la droite de remontée, par l'équation 3 :

$$S = \frac{2,25 T t_0}{x^2} \quad (3)$$

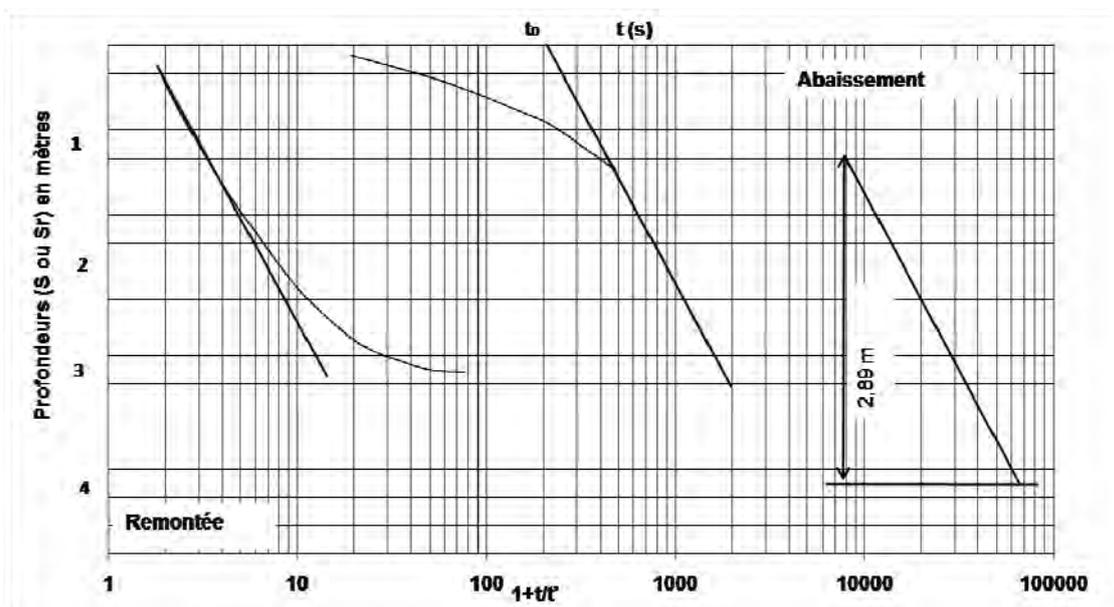


Figure 4. Résultats de pompage d'essai de longue durée du sondage G10.

Les valeurs de transmissivité obtenues sont très faibles (tableau 1) indiquant une perméabilité médiocre des terrains étudiés. Ceci n'a cependant rien d'étonnant dans un environnement de sebkha, où les débits sont toujours faibles. Les débits obtenus se situent dans une marge 0,6 à 1,2  $m^3/h$  et le coefficient d'emmagasinement est de l'ordre

de  $10^{-4}$ . Les valeurs obtenus sont à considérer pour toute tentative d'exploitation des saumures. Avec des débits aussi faibles, toute opération de pompage à partir de puits réalisées ne pourra pas satisfaire à l'extraction d'un grand volume par jour. Un pompage continu ou presque fournira environ  $20 \text{ m}^3/\text{jour}/\text{puits}$ , ce qui nécessite 50 puits pour  $1000 \text{ m}^3$ . Vu le nombre de puits, il faudra dans ce cas penser à une maille de forages dans les zones les plus riches en saumures et aux meilleures caractéristiques hydrodynamiques.  $\times 10$

*Tableau 1. Paramètres hydrodynamiques de la nappe de la sebkhia d'Oum El Khialate.*

	<i>Débit</i> ( $\text{m}^3/\text{h}$ )	<i>s</i> ( $\text{m}$ )	<i>débit spec.</i> ( $\text{l/s/m}$ )	<i>T</i> ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	<i>S</i>
<b>D5</b>	0,91	2,89	0,32	$2.2 \times 10^{-5}$	
<b>D7</b>	0,76	2,88	0,26	$1.3 \times 10^{-5}$	
<b>E10</b>	0,54	3,545	0,16	$1.5 \times 10^{-5}$	
<b>F7</b>	0,47	3,165	0,15	$1.1 \times 10^{-5}$	
<b>F9</b>	1,15	2,43	0,13	$2.0 \times 10^{-5}$	$2.0 \times 10^{-4}$
<b>F11</b>	0,61	2,9	0,08	$1.5 \times 10^{-5}$	$0.5 \times 10^{-4}$
<b>G6</b>	0,72	1,125	0,56	$4.53 \times 10^{-5}$	
<b>G9</b>	0,47	3,545	0,15	$1.9 \times 10^{-5}$	
<b>G10</b>	0,83	3	0,08	$1.42 \times 10^{-5}$	$0.76 \times 10^{-4}$
<b>G11</b>	1,08	1,18	0,26	$11.1 \times 10^{-5}$	
<b>H10</b>	0,76	1,31	0,16	$4.0 \times 10^{-5}$	$2.22 \times 10^{-4}$
<b>III</b>	0,36	1,965	0,18	$1.9 \times 10^{-5}$	

#### 4. Conclusion

L'étude hydrogéologique a montré que la nappe des saumures de sebkhia Oum Khialate est formé d'un réservoir épais au maximum de 10 m et constitué de silts, d'argiles gypseuses, de gypse, de mirabilite solide, et rarement de lentilles de sable. Il s'agit d'une nappe libre de saumures reposant sur un écran d'argiles triasiques. L'écoulement de cette nappe s'effectue en général vers les zones les plus creuses actuellement et qui constituent des zones d'exhaure et d'évaporation de la nappe.

Les caractéristiques hydrodynamiques du réservoir sont mauvaises et les débits de pompage sont faibles.

Toute exploitation des saumures par pompage doit tenir compte de ces résultats. Pour de grands volumes à extraire par jour, il sera éventuellement nécessaire de pratiquer des tranchées, ou même un drainage à l'horizontale équipé de puisards.

#### 5. Références

ALKIMIA -Société- (2007). *Géologie et évaluation de stock de  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  de sebkhia Oum El Khialate à partir l'année*. Rapport inédit.

## *Thème 2 – Dynamique sédimentaire*

BOUAZIZ S. (1986). *La déformation dans la plate-forme du Sud tunisien (Dahar-Jeffara) approche multiscalaire et pluridisciplinaire*. Thèse de Doctorat. Univ.Tunis, 180 p.

INCOFO -Société- (1999). *Exploitation du gisement de sulfate de soude de sabkha el Guine-Oum el Khialate. Procédés d'exploitation et évaluation économique*. Rapport inédit.

MAMOU A. (1983). *Etude hydrogéologique de sabkhet Oum el Khialet*. Bureau de l'Inventaire et des Recherches Hydrogéologiques. Ministère de l'Agriculture de Tunisie.

PERTHUISOT J.P. (1976). *Une sebkha sulfatée sodique en pays sédimentaire : La sebkha Oum el Khialate (Sud tunisien)*. Géologie méditerranéenne, n° 4, pp 265-274.

SOLIGNAC M. (1942). *Note sur les gisements de sulfate de soude du Sud tunisien*. Rapport inédit, 6 p.

TAGORTI M.A., GUELLALA R., GALLALA W., ESSEFI E., TLIG S. (2013). *Geochemical and hydrogeological studies of a sodium sulphate deposits: the case of Sabkhet El Ghine Oum El Khialate, southeast Tunisia*. Carbonates and Evaporites, Vol. 29, pp 299-307. <http://dx.doi.org/10.1007/s13146-013-0180-3>