

## Modélisation de l'intrusion marine dans l'aquifère côtière du Gabès (sud tunisien)

BADIAA CHULLI<sup>1</sup>, ABDALAH TAHERI TIZRO<sup>2</sup> &  
NASIME JABNOUN<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centre de Recherches et Technologies des Eaux, Labo Hydrogéologie, Technopole Borj Sadria, Tunisie  
[bchoulli@yahoo.fr](mailto:bchoulli@yahoo.fr)

<sup>2</sup> Dept of Water Engineering, College of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran

<sup>3</sup> Faculté des Sciences de Tunis, El Manar II, Tunisie

**Résumé** L'aquifère côtière du Gabès sud fait partir du système aquifère multicouche de Jeffara nord. Elle est formée par des sédiments alluvionnaires et détritiques d'âge Quaternaire et par des dépôts argilo-sableux d'âge Mio-Pliocène. La nappe phréatique de Gabès sud est la plus anciennement exploitée dans le gouvernorat de Gabès. Bien qu'elle présente de bonnes caractéristiques hydrogéologiques et hydrochimiques, cette nappe est de plus en plus sollicitée. La plus grande densité des puits de surface sont localisées dans la région de Kettana et de Mareth. La mauvaise répartition de l'exploitation dans l'espace provoque un déséquilibre hydrodynamique et hydrochimique et aussi le risque d'une intrusion des eaux marines si en se trouve dans un stade d'exploitation avancé. Dans le cadre de la présente article nous abordant les principales caractéristiques, lithologiques, hydrodynamiques et géochimiques de l'aquifère du Gabès sud dans le but d'élaborer une exquise de comportement de ces paramètres, dans l'espace et dans le temps au sein de cette ensemble stratigraphique.

**Mot clefs** système aquifère de Jeffara; hydrodynamisme; hydrochimie, Tunisie

### Seawater intrusion modelling for the Gabes coastal aquifer system (southern Tunisia)

**Abstract** The south Gabes coastal aquifer is a multilayer aquifer system located in northern Jeffara in southern Tunisia. Unconsolidated alluvial deposits, mainly Mio-Pliocene and shale of Quaternary age, underlain by a thick sequence of Mesozoic and Cenozoic formations, characterize the area. Over-abstractions of groundwater in the Kettatna and Mareth areas have resulted in severe disequilibrium of its water balance. Many deep and shallow wells have been constructed by farmers in order to cover the water demands for irrigation supply. The increase in groundwater abstraction, combined with seawater intrusion, have been accompanied by a fall in water table depth. Along the coastal area, increased groundwater salinity is reported. In this study, an attempt has been made to decipher the lithological formations, hydrodynamic properties and geochemical characteristics of the south Gabes aquifer in order to establish the causes. All existing geological, hydrological, and hydrogeological data were evaluated and reworked.

**Key words** Jeffara aquifer system; saline intrusion; hydrodynamic; hydrochemical; Tunisia

## INTRODUCTION

La région d'étude couvre la totalité de la plaine côtière de la Jeffara nord (Fig. 1). Elle est limitée au nord-est par la mer méditerranéenne et au sud-ouest par les Jebels

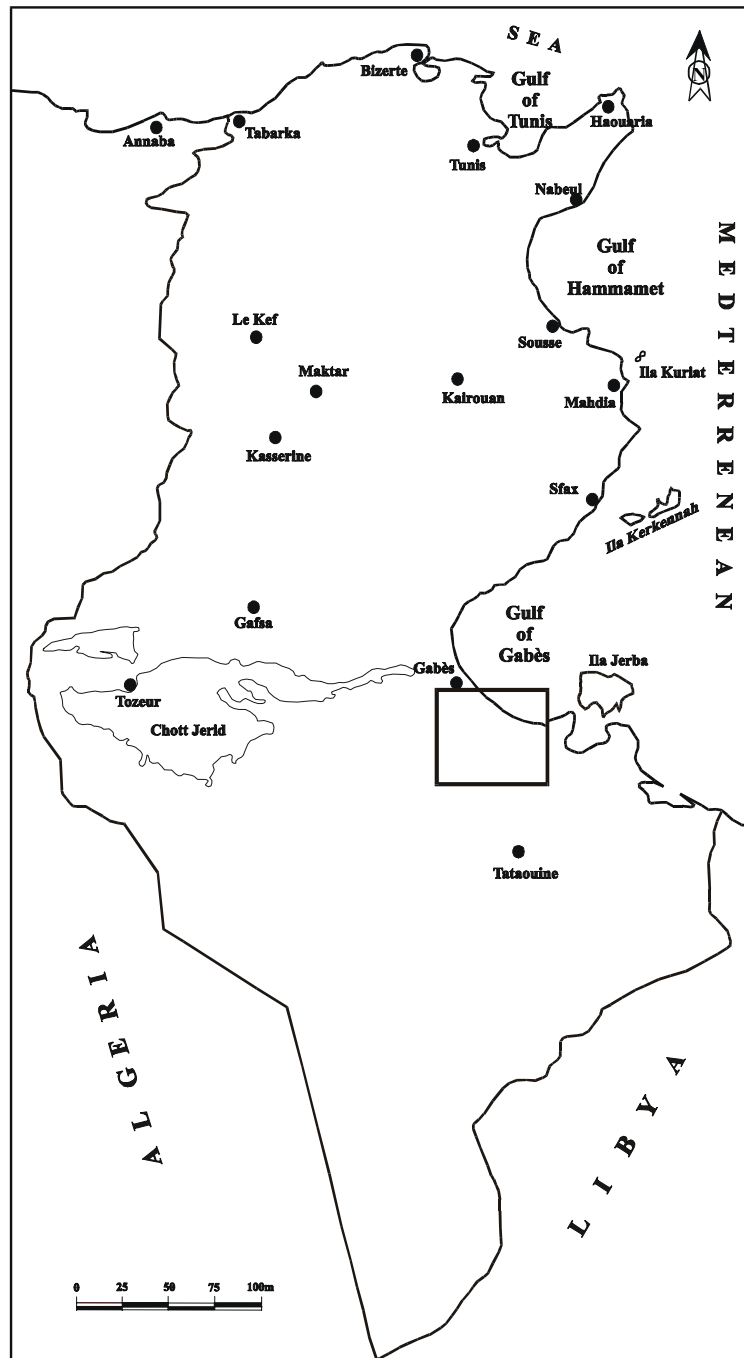


Fig. 1 Localisation géographique de domaine d'étude.

de Matmata. Les reliefs de Jebels Matmata jouent le rôle d'écran et favorisent le ruissellement des eaux pluviales vers la mer.

Cette région est caractérisée par un climat aride à semi aride, des pluviométries qui varient entre 183 mm et 220 mm par an, une température moyenne annuelle de 19.7°C et un taux d'évaporation annuelle de 2128 mm.

La plaine côtière de Gabès sud est traversée par quatre oueds importants qui sont Oued Zigaou, Oued Zerkine, Oued El Ferd et Oued Sourrag.

## CARACTERISTIQUE HYDROGEOLOGIQUE

Les eaux de la nappe phréatique de Gabès sud se logent Ayadi (1986):

- Soit dans les formations alluvionnaires et détritiques résultant d'une ancienne activité hydrographique, des oueds descendant des Matmatas. Ces formations sont d'âge Quaternaire.
- Soit dans les formations argilo-sableuses du Mio-Pliocène.

Dans ces formations alluviales les variations latérales de faciès sont toujours fréquentes, à cause de l'apport en matériaux des oueds des Matmatas.

L'alimentation de la nappe phréatique de Gabès sud se fait à partir des eaux des crues, infiltrées au niveau des lits des principaux oueds descendant des Matmatas et par infiltration directe des eaux météoriques tombant sur la plaine côtière et aussi l'infiltration des eaux d'irrigation au niveau des oasis.

La décharge de la nappe se fait par les sources, les Sebkhass, la mer et les puits de surfaces qui constituent les exutoires de la nappe.

## HISTOIRE DE L'EXPLOITATION DE LA NAPPE (1979–1995)

**Tableau 1** Récapitulation de l'histoire de l'exploitation de la nappe de Gabès sud de 1979 à 1995.

Année	Puits équipés	Puits non équipés	Puits abandonnés	Total puits	Exploitation (Mm <sup>3</sup> /an)
1977	104	416	0	520	3.37
1979	217	319	147	707	4.80
1985	492	262	224	978	5.83
1987	560	307	230	1097	6.60
1990	598	405	272	1275	7.94
1995	994	48	409	1451	10.40

## ETUDE PIEZOMETRIQUE

**Etat de la piézométrie en 1979** La carte piézométrique dressée par Mammou en 1979 (Fig. 2) montre que le sens d'écoulement de la nappe suit la topographie du terrain et se fait à partir des reliefs vers la côte. Les axes principaux d'écoulement suivent sensiblement les lits des principaux oueds descendant de la chaîne des Matmatas. Les lits de ces oueds représentent ainsi des zones préférentielles d'alimentation de la nappe. La pente hydraulique de la nappe est de l'ordre de 5% ; elle se réduit vers l'amont de la plaine pour atteindre 1.4%.

**Etat de la piézométrie en 1995** La carte piézométrique (Fig. 3) montre que le sens d'écoulement des eaux galonne la topographie de la nappe dans un sens orienté SW–NE. Le gradient hydrologique présente des valeurs comprises entre 2.8 et 4% dans les zones amonts et 8% près de la côte où les courbes isopièzes deviennent plus serrées. Ceci peut être dû à la variation lithologique des formations aquifères qui deviennent plus détritiques. L'écoulement de la nappe est influencé par l'exploitation intense au niveau des régions à grande concentration de point d'eau, localisées autour des lits des oueds qui offrent des conditions pédologiques meilleures pour la culture.

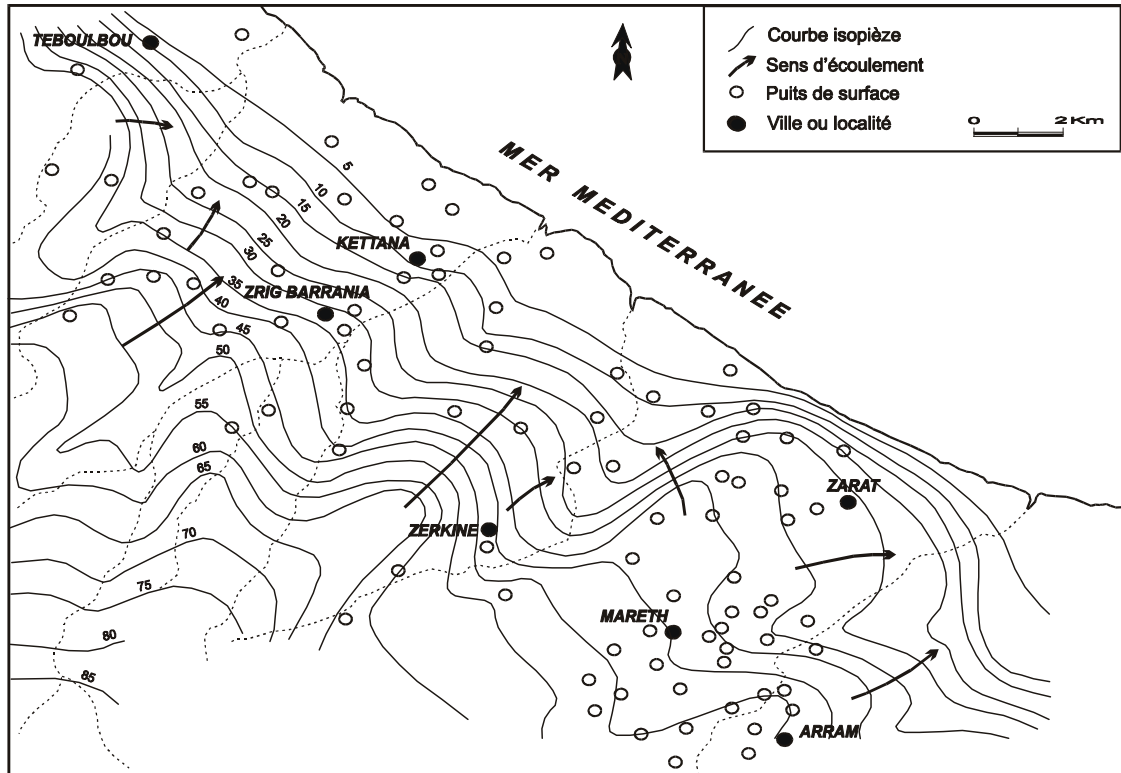


Fig. 2 Carte piézométrique de la nappe phréatique de Gabès sud Mammou: 1979.

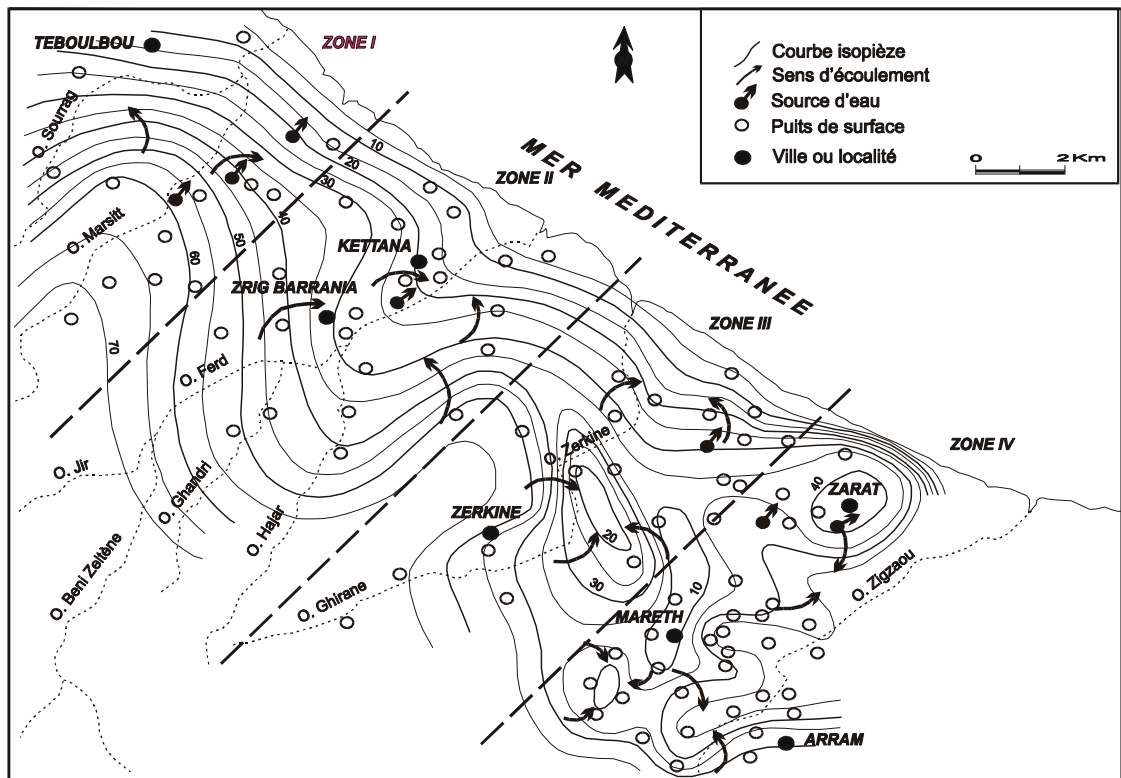


Fig. 3 Carte piézométrique de la nappe phréatique de Gabès sud Mammou: 1995.

## EVALUATION DES RESSOURCES DE LA NAPPE

Afin de pouvoir cerner les ressources de la nappe, quatre zones représentant des sous-bassins des principaux oueds sont identifiées (Fig. 3).

**Tableau 2** Représentation des nombres de puits et de leurs débit d'exploitation pour chaque zone.

Zones	Sous-bassins	Nombre de puits	Débit d'exploitation (L/s)
Zone I	Oued Marsitt et Sourrag	134	30.70
Zone II	Oued Ferd	240	54.45
Zone III	Oued Zerkine	181	41.25
Zone IV	Oued Zigzaou	896	203.60

### Les ressources potentielles réelles

On va applique la Loi de Darcy:

$$Q = T L I \quad (1)$$

**Tableau 3** Récapitulation des ressources potentielles réelles avec le calcul de débit amont et aval dans chaque zone.

	Zone I:		Zone II:		Zone III:		Zone IV:	
	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval	Amont	Aval
$T$ (m <sup>2</sup> /s)	2 10 <sup>-3</sup>	0.5 10 <sup>-3</sup>	2 10 <sup>-3</sup>	0.5 10 <sup>-3</sup>	2 10 <sup>-3</sup>	05 10 <sup>-3</sup>	1.44 10 <sup>-3</sup>	0.35 10 <sup>-3</sup>
$L$ (m)	9 10 <sup>3</sup>	7.65 10 <sup>3</sup>	14.4 10 <sup>3</sup>	8.37 10 <sup>3</sup>	10.8 10 <sup>3</sup>	6.75 10 <sup>3</sup>	21.6 10 <sup>3</sup>	14.85 10 <sup>3</sup>
$I$ (%)	4 10 <sup>-3</sup>	8.10 <sup>-3</sup>	4 10 <sup>-3</sup>	6 10 <sup>-3</sup>	4.5 10 <sup>-3</sup>	7.3 10 <sup>-3</sup>	3.23 10 <sup>-3</sup>	3.64 10 <sup>-3</sup>
$Q$ (m <sup>3</sup> /s)	72	30,6	115.20	25.11	97.20	24.64	100.46	20
$R_{pr}$ (L/s)	41.4		90.09		72.56		80.46	

$T$ : Transmissivité horizontale;  $L$ : Largeur du front de la nappe (m);  $I$ : Gradient hydraulique;  $Q$ : Débit traversant le front de la nappe;  $R_{pr}$ : ressources potentielles réelles.

Les ressources potentielles réelles ( $R_{pr}$ ) est égale à la différence entre un débit amont ( $Q_m$ ) et un débit aval ( $Q_v$ ):

$$R_{pr} = Q_m - Q_v \quad (2)$$

La somme des débits amont de tout les sous bassins égale ( $Q_m = 385$  L/s).

La somme des débits aval de tout les sous bassins égale ( $Q_v = 100$  L/s).

On applique l'équation (2)  $R_{pr} = 285$  L/s.

Dans un cas idéal on doit trouver  $Q_{ex} = R_{pr}$ . C'est à dire que le volume perdu entre l'amont et l'aval doit égaliser le volume exhaure au niveau des puits. Or dans notre cas le volume calculé par la méthode de Darcy et celui d'exploitation sont différents ( $Q_{ex} > R_{pr}$ ). Cette différence qui s'élève de 45 L/s ( $330 - 285 = 45$ ) Pourrait être expliquée par:

- l'infiltration par endroits du surplus des eaux d'irrigation au niveau des oasis,
- le déversement des eaux de la nappe profonde du à la drainance verticale facilitée par l'existence des failles.

Les ressources renouvelables:

$$R_r = V_{id} + V_{ir} \quad (3)$$

Le Tableau 4 suivant résume les résultats de calculs des ressources renouvelables.

Avec:

$$V_{id} = P S I_1 \quad (4)$$

$$V_{ir} = V_r I_2 \quad (5)$$

$P$  est la pluviométrie moyenne du bassin versant considéré (m);  $S$  est surface du bassin versant ( $m^2$ );  $V_r$  est volume ruisselé ( $m^3/an$ );  $I_1$ ,  $I_2$  sont coefficients d'infiltration,  $I_1 = 2\%$  et  $I_2 = 45\%$ .

Cette valeur de ressources renouvelables donne un débit  $Q_r = 350$  L/s.

**Tableau 4** Récapitulation des résultats de calculs des ressources renouvelables.

Bassin	$V_{id}$ ( $m^3/m$ )	$V_{ir}$ ( $m^3/an$ )	$R_r$ ( $m^3/an$ )
O. Zigmaou	812 820	992 925	1 805 745
O. Zerkine	568 800	585 855	1 154 655
O. Ferd	1 866 800	2 309 175	4 175 975
O. Sourrag	1 329 620	1 125 585	2 455 205
O. Segui Mareth	672 600	778 410	1 451 010
Total	5 250 640	5 791 950	11 042 590

$R_r$ : ressources renouvelables ( $m^3/an$ );  $V_{id}$ : volume d'infiltration directe ( $m^3/an$ );  $V_{ir}$ : volume d'infiltration après ruissellement ( $m^3/an$ ).

### Bilan hydrique de la nappe

Le bilan global de la nappe montre que les sorties excèdent les entrées; il s'agit donc d'un bilan déficitaire. La zone IV est la seule touchée par cette surexploitation. Dans cette région l'exploitation représente 222.60% des ressources dynamiques. Cette situation nous pousse à prendre des mesures rigoureuses pour interdire toute nouvelle création de puits d'eau dans cette région.

**Tableau 5** Résumé de bilan hydrique de la nappe.

Zones	Entrées (L/s)	Sorties (L/s)	Differences (L/s)
Zone I	72.00	61.30	10.70
Zone II	115.20	79.56	35.64
Zone III	97.20	65.89	31.31
Zone IV	100.46	223.60	-123.14
Total	384.86	432.35	-47.49

### ETUDE DE LA SALINITE DE LA NAPPE

**Etat de la salinité en 1979** Sur cette carte (Fig. 4) on remarque que les salinités de la nappe varient entre 2 et 10 g/L (Mamou, 1979). Les zones à fortes salinités correspondent à:

- des lieux d'évaporation (sebkhas);
- des lieux de contamination marine comme l'embouchure sur l'Oued Ferd, Oued Sourr (Mamou, 1995); et
- des zones de surexploitation (cas de Mareth).

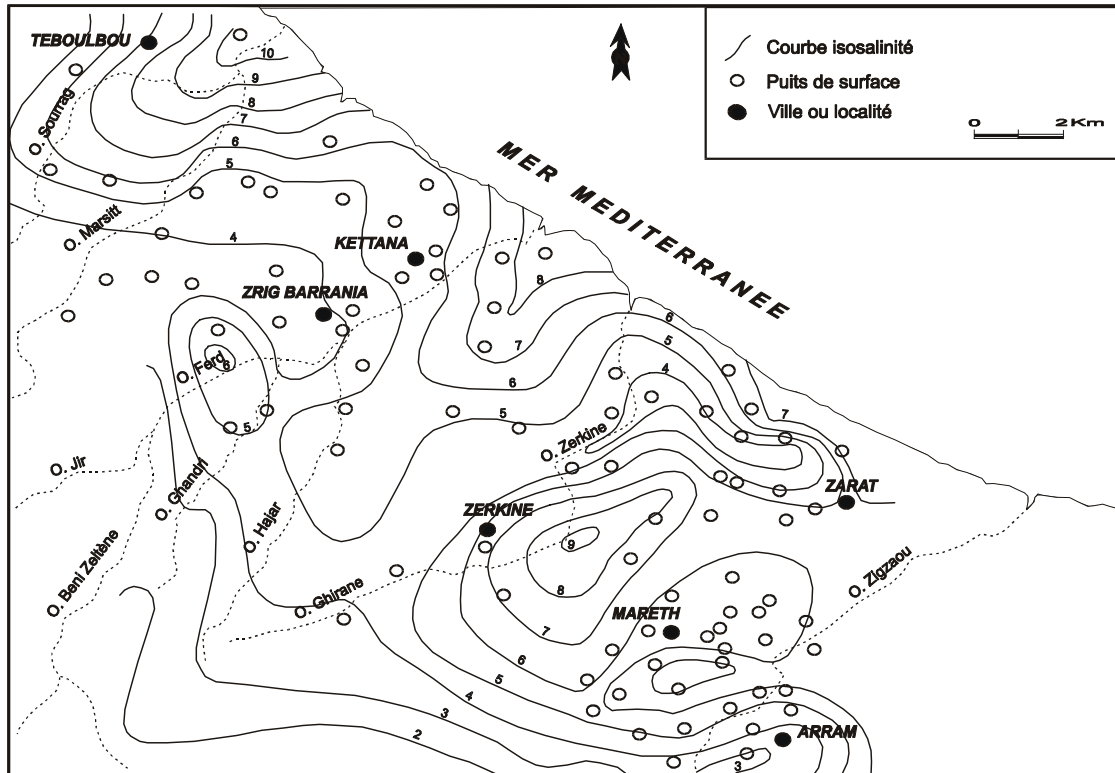


Fig. 4 Carte des isosalinités de la nappe phréatique de Gabès sud: 1979.

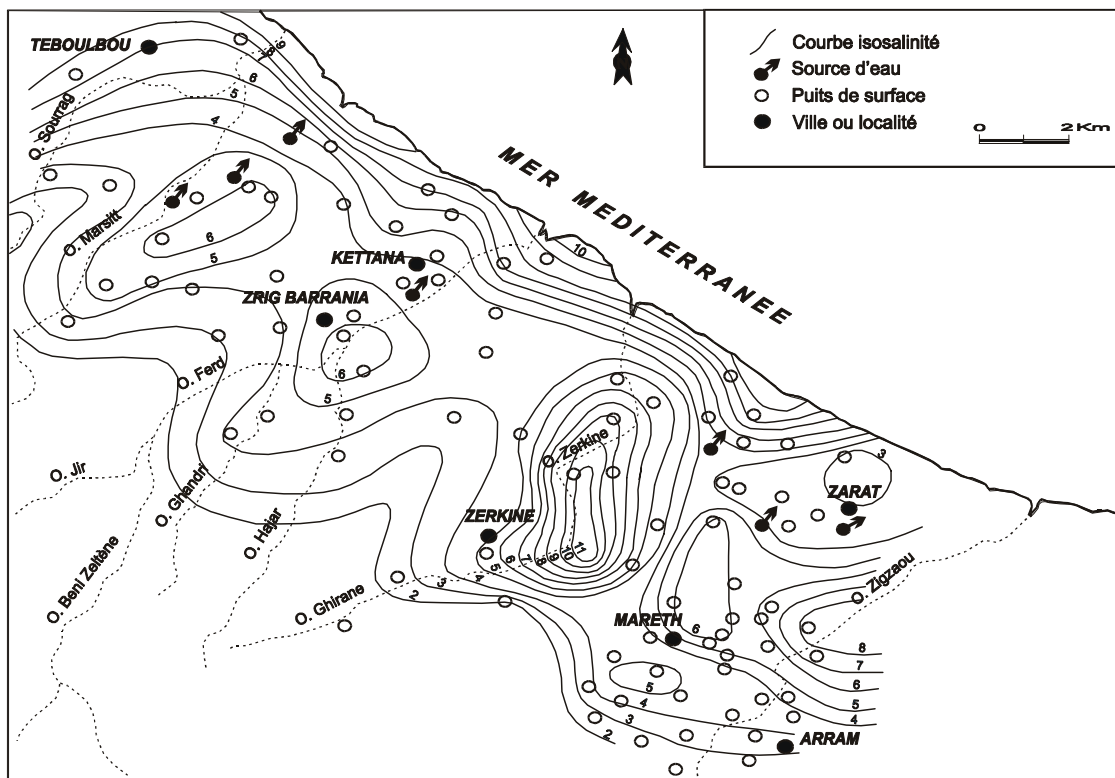


Fig. 5 Carte des isosalinités de la nappe phréatique de Gabès sud: 1995.

**Etat de la salinité en 1995** Sur le littoral entre Teboulba et Zarat la salinité (Fig. 5) varie entre 5 et 10 g/L (Mamou, 1995). Ces valeurs sont expliquées par le phénomène de contamination par les eaux marines et de dissolution de sels par suite de l'écoulement des eaux souterraines.

La partie amont, considérée comme sone d'alimentation de la nappe se caractérise par des valeurs de salinité plus faible (2 à 4 g/L). Pour ces deux parties de la nappe l'allure des courbes isosalinités suit parfaitement celle dessinée par les isopièzes; on en conclut donc que la salinité évolue dans le même sens que l'écoulement de la nappe.

La forte salinité 11 g/L correspond soit à une sone d'évaporation, comme la Sebkha de Zerkine, soit à une zone à grande concentration de points d'eau, comme Ketana et Mareth. La surexploitation combinée à l'évaporation des eaux ne font qu'augmenter la salinité des eaux.

Les faibles valeurs de salinité enregistrées dans la région de Zarat et la zone se trouve entre Oued Zerkine et Oued Ferd ne font que confirmer le phénomène de drainage verticale mis en évidence par la piézomètre de la nappe. Ces deux zones sont donc des zones d'alimentation à partir de la nappe profonde.

## CONCLUSIONS

L'aquifère phréatique de Gabès sud est logé dans les formations alluvionnaires et détritiques du Quaternaire et dans les formations argilo-sableuses du Mio-Pliocène.

L'écoulement global de la nappe se fait des reliefs vers la cote dans un sens SW-NE. Cet écoulement de la nappe est perturbé par la surexploitation régionale, par l'existence de zones de décharges (Sebkhas) et de zones d'alimentation à partir de la nappe profonde par alimentation verticale (Chulli, 1998).

Les ressources dynamiques sont estimées à 385 L/s, les ressources potentielles réelles sont de l'ordre de 285 L/s.

A cause de la surexploitation, le bilan global de la nappe est déficitaire et le déficit s'élève à 1.43 Mm<sup>3</sup>/an.

Le suivie de l'évolution de la salinité des eaux à montré qu'elle évolue dans le même sens que l'écoulement de la nappe et que la qualité chimique des eaux s'est dégradée entre 1985 et 1995 dans les régions côtières en aval de Kettana (Chulli, 2002).

## REFERENCES

- Ayadi, M. (1986) Etude de la nappe phréatique de Mareth, Rap. Int., D.G.R.E.  
Chulli, Z. B. (1998) Hydrodynamisme et géothermie de l'aquifère triasique du sud tunisien. *Africa Geoscience Review* 5(3), 297-311.  
Chulli, Z. B. (2002) Structuration profonde et géothermie de la marge orientale de la Tunisie. *Africa Geoscience Review* 9(1), 39-46.  
Mamou, A. (1979) Note sur la situation d'exploitation des nappes du gouvernorat de Gabès, Rap. Int. D.G.R.E.  
Mamou, A. (1995) Caractéristiques, évaluation et gestion des ressources en eau du sud tunisien. Thèse Doct.ès-Sciences naturelle, Université de Paris-Sud, Centre d'Orsay.