

## Caractérisation géophysique d'une nappe artésienne superficielle à Sousse (Tunisie)

par M. Gasmi\*, H. Ben Dhia\*\*, A. Lahlou\*\*

\* Ecole Nationale d'Ingénieurs de Gabès, (Tunisie)

\*\* Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, (Tunisie)

Cette étude a été entreprise à la suite de la découverte d'une « Nappe Artésienne Superficielle (NAS) » à une profondeur de l'ordre de 30 m (puits P1) sur la route Sousse-Monastir, dans la région dite Sidi Abdel Hamid à Sousse. Les analyses chimiques ont montré que l'eau de salinité supérieure à 7 g/l présente une forte teneur en sulfures (plus de 40 mg/l). Les analyses bactériologiques ont montré que l'eau est propre, d'où son importance du point de vue thérapeutique. Un autre puits (P2) de profondeur supérieure à 54 m, situé à 600 m du premier sur la même route, a présenté le caractère artésien. Les analyses chimiques de son eau de salinité supérieure à 7 g/l n'ont présenté aucune anomalie de sulfures. Les deux puits se trouvent à mi-chemin entre la mer Méditerranée à l'Est et la Sebkhâ Sousse à l'Ouest. Ces caractéristiques des deux puits nous ont incité à donner plus d'importance à cette nappe artésienne superficielle pour l'évaluer davantage en se fixant les objectifs suivants :

- déterminer l'étendue de cette NAS tant verticalement que latéralement,
- établir une relation entre les deux puits P1 et P2,
- comprendre pourquoi les sulfures sont présents en P1 et absents en P2,
- essayer de trouver une zone d'alimentation de la NAS.

Pour ce faire, on s'est basé sur la prospection géophysique et principalement le Sondage Electrique Vertical (SEV).

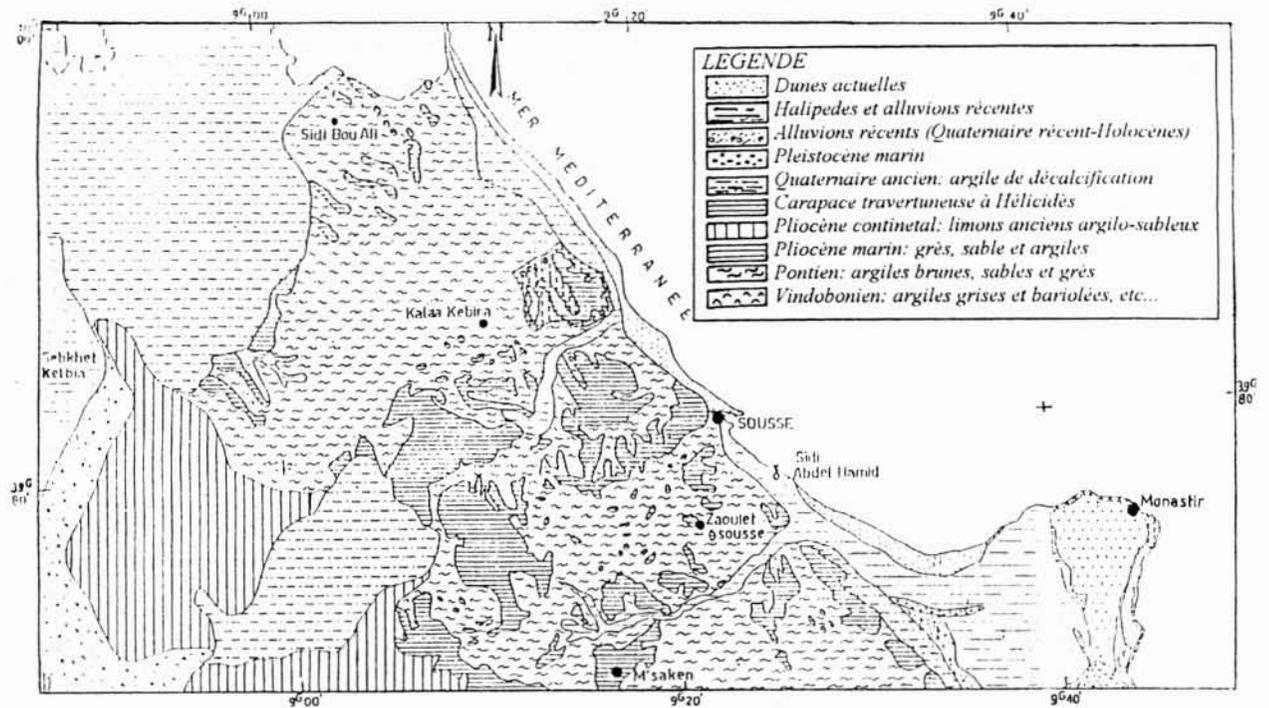
### I ■ CADRE GÉOGRAPHIQUE ET GÉOLOGIQUE

La zone d'étude appartient au Sahel de Sousse ; de superficie égale à 68 km<sup>2</sup>, elle est située entre les méridiens 10°37 et 10°40. Elle est limitée au Nord par la ville de Sousse, à l'Est par la mer Méditerranée, à l'Ouest par l'anticlinal de Kalaâ Kébira et au Sud par la localité de Késiba et Oued Hamdoun (fig. 1).

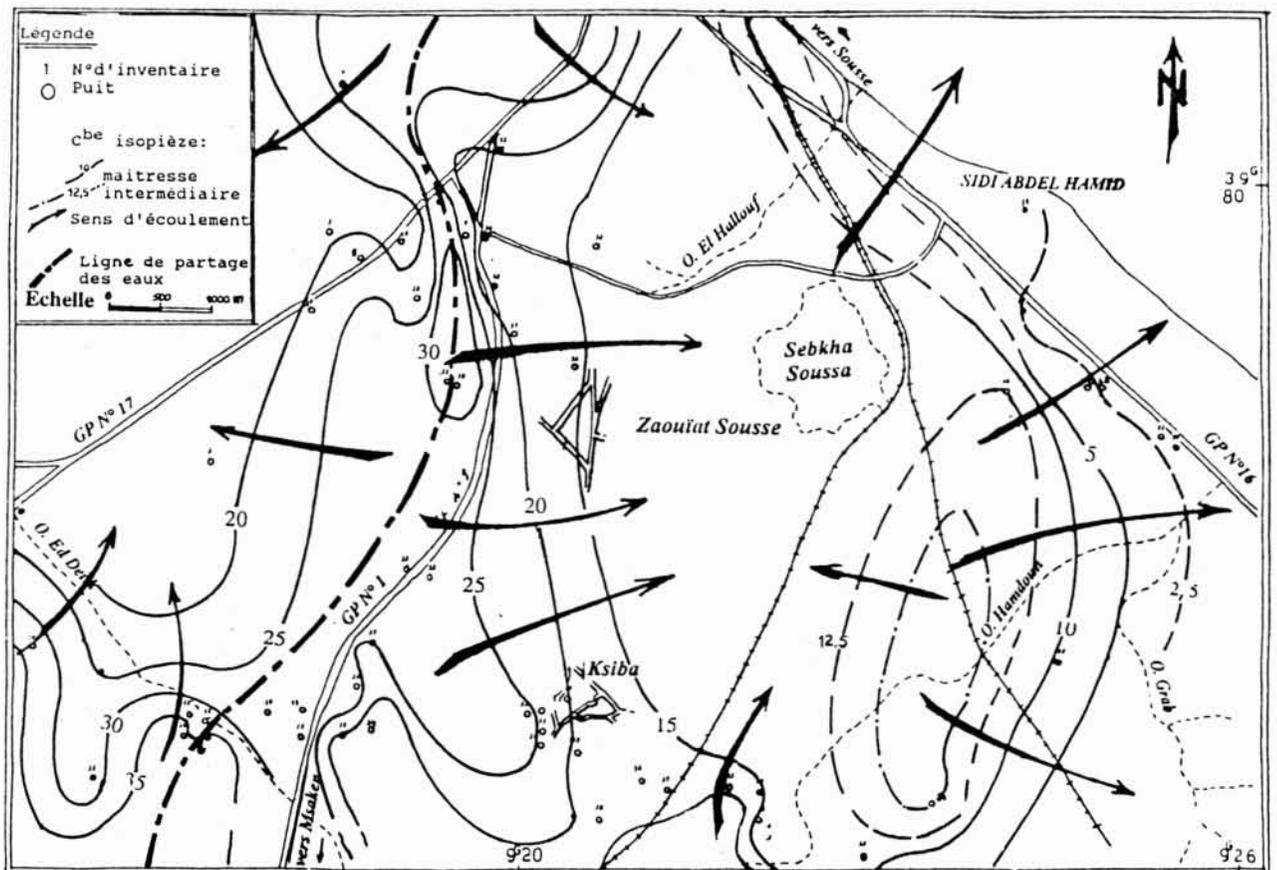
Le secteur se situe au centre du Sahel central Tunisien qui correspond à une vaste plate-forme considérée longtemps comme une plate-forme stable : pays de plaines et de basses steppes. Cependant des travaux récents ont mis en évidence le rôle de la néotectonique dans la structuration de la plate-forme [1]. Les affleurements géologiques de la région de Sousse tels que présentés dans la figure 1 montrent une dominance nette des dépôts Pontiens (Mio-Pliocène) à faciès

#### Geophysic characterisation of an artesian superficial water table at Sousse (Tunisia)

*At Sidi Abdel Hamid (Sousse-Tunisia), after having discovered an artesian superficial water-table, we undertook 31 V.E.S. of geophysical measurements. The underground is made of at least five beds. The artesian aquifer is wedged between two impermeable levels. Two faults (F1 and F2) cross the prospected zone. F1 has basculed down the South-East compartment. It represents a barrier between two parallel ground-water-flows from West to East. The flow at the north of F1 may cross the sediments of Sebket-Sousse, and that could explain the high sulfure concentration at the level of P1 well (more than 40 mg/l). Geoelectric sections and maps of the aquifer have been made in order to better understand its general structure. Finally, we have made some recommandations and proposed the emplacement of a mechanical boring prospection.*



1. Carte géologique de Sousse (réduction de l'esquisse au 1/200 000) [3].



2. Carte piézométrique de la nappe phréatique de Sousse-M'Saken de 1990 [3].

gréseux à sablo-gréseux. Vers l'Ouest apparaissent les argiles de décalcification du travertin d'âge Quaternaire ancien et qui passent vers le Sud à un faciès argilo-sableux à dominance limoneuse. Dans la direction de la ligne de côte, les pointements Plio-Quaternaires sont disséminés dans les affleurements du Mio-Pliocène. En revanche, la côte méditerranéenne est occupée essentiellement par des dunes actuelles qui passent au niveau de Sidi Abdel Hamid à des dépôts alluvionnaires récents. Ce faciès se prolonge vers le Sud-Est pour se substituer à des affleurements d'âge Pléistocène marin caractérisé par des plages à Strombes et des dunes anciennes. Du point de vue stratigraphie, les forages pétroliers dans la région montrent que depuis l'Aptien et jusqu'au Quaternaire, les séries sont dominées par des argiles et des sables.

## II ■ CADRE HYDROGÉOLOGIQUE

La nappe phréatique de Sousse appartient à celle de Sousse-M'Saken, captée par des puits de surface qui constituent son exutoire artificiel et dont la profondeur moyenne du plan d'eau est de 17 m. L'aquifère se situe dans les formations d'âge Mio-pliocène supérieur à Plio-villafranchien inférieur [2].

La carte piézométrique de la nappe phréatique de Sousse-M'Saken (fig. 2) montre que le niveau piézométrique varie de 0 et 30 m. Les valeurs les plus élevées sont situées à l'Ouest de Sebkhia Sousse et les valeurs les plus basses sont localisées le long de la zone côtière [3].

Une ligne de partage des eaux souterraines de direction globale NNE-SSW suit grossièrement à un kilomètre à l'Est la GP1. Elle matérialise une ligne de crête de la surface piézométrique atteignant les 30 à 35 m au SW de la région

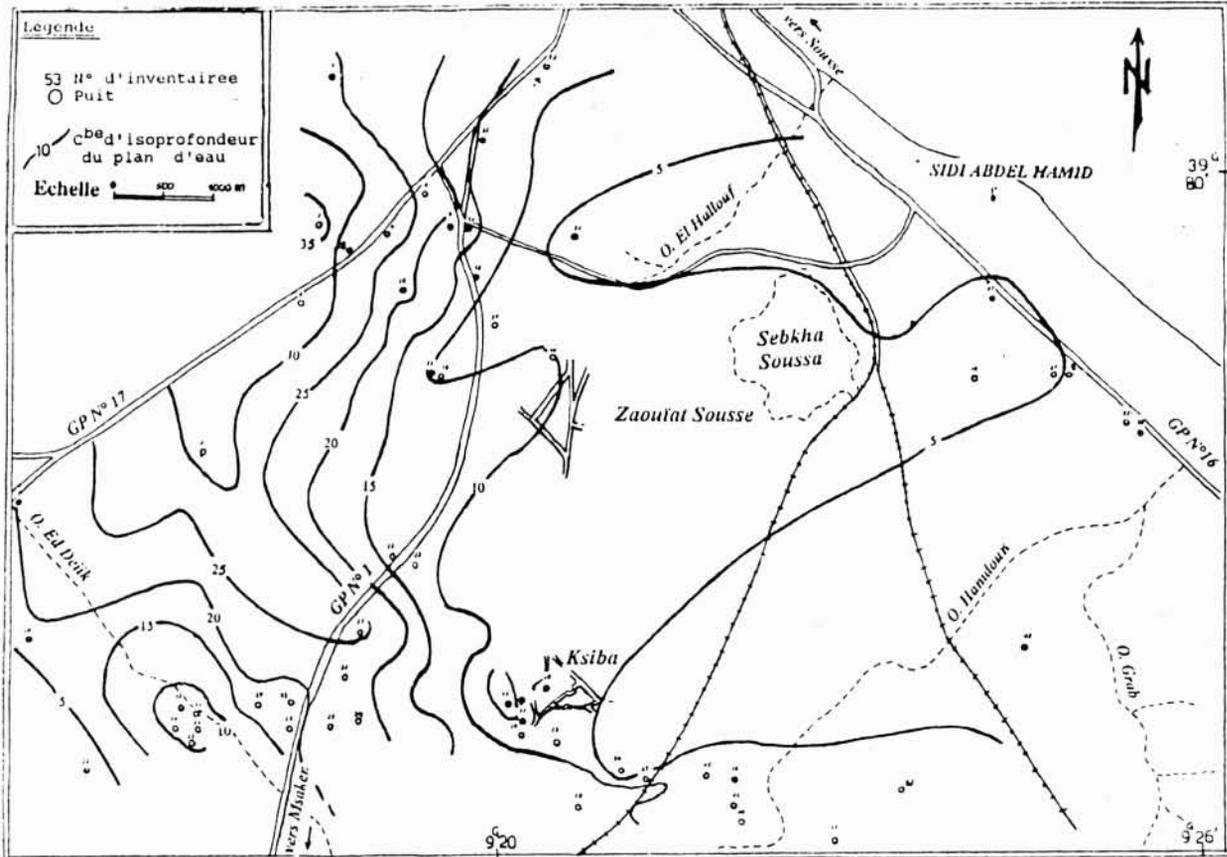
d'étude et 30 m à l'Est de la GP17. A l'Ouest de cette ligne de partage des eaux, l'écoulement souterrain manifeste une convergence des eaux vers le centre de la zone. A l'Est, l'écoulement est vers la mer qui constitue l'exutoire naturel de la nappe. Cependant une convergence claire des filets liquides se fait vers Sebkhia Sousse qui apparaît comme un exutoire secondaire de la nappe. Au SE de la Sebkhia, Oued Hamdoun constitue une aire d'alimentation préférentielle de la nappe phréatique.

Les gradients hydrauliques varient de 8 % au SE de la Sebkhia entre Oued Hamdoun et Oued Grab, à 13 % entre la Sebkhia et la route GP1 [3].

La carte d'isoprofondeur du plan d'eau (fig. 3) montre que ce dernier varie de 35 m (en amont sur la limite NW de la zone d'étude) à 2,5 m (en aval de la nappe phréatique sur la côte). Les perturbations remarquées à proximité de Ksiba ou Zaouit Sousse sont probablement dues à un pompage intensif de la nappe.

## III ■ CARACTÉRISTIQUES GÉOCHIMIQUES DE LA NAS

Les résultats des analyses chimiques des eaux dans les deux puits P1 et P2 sont présentés dans le *tableau 1*. On note que les anions dans les deux puits montrent une forte teneur en chlorures et en sulfates, alors que les cations dominants sont plutôt le sodium et, à degré moindre, le magnésium et le calcium. Les eaux de cette nappe montrent donc un faciès chimique de type chloruré-sodique. Par ailleurs le puits P1 a présenté une forte teneur en sulfures (40 mg/l) à la différence du puits P2 où ces derniers sont absents. Les analyses bactériologiques ont montré que l'eau est propre pour les deux puits [4].



3. Carte de profondeur du plan d'eau de la nappe phréatique de Sousse-M'Saken de 1990 [3].

**Tableau 1. — Résultats des analyses chimiques de l'eau.**

Eléments majeurs	Puits P1 (g/l)	Puits P2 (g/l)
Na <sup>+</sup>	2,600	1,700
Ca <sup>++</sup>	0,188	0,140
K <sup>+</sup>	0,039	0,030
Mg <sup>++</sup>	0,187	0,146
Cl <sup>-</sup>	3,882	2,467
SO <sub>4</sub> <sup>-</sup>	0,852	1,046
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,329	0,183
Paramètres physico-chimiques		
PH	7,3	7,0
Résidu sec (g/l)	7,8	6,4
Conductivité (s/cm)	10,0	8,4
Température (°C)	22,0	24,0
Résistivité (Ohm.m)	7,5	10,0

#### IV ■ CARACTÉRISATION GÉOPHYSIQUE DE LA NAS

La méthode géophysique généralement utilisée dans ce genre d'étude est le Sondage Electrique Vertical (SEV).

##### ● 4.1 Rappel théorique

En méthode électrique, on considère que le courant pénètre dans un milieu homogène par une électrode placée à l'origine d'un système de coordonnées (*Oxyz*). A chaque surface sphérique *S*, à la distance *r* de l'origine *O*, le courant circule radialement. Comme l'aire de la surface *S* est  $4\pi r^2$ , la densité de courant à la distance *r* est :  $J_r = \frac{I}{4\pi r^2}$ . Si  $\rho = \frac{1}{\delta}$  est

la résistivité d'un milieu homogène et isotrope, la loi d'Ohm peut s'écrire :  $E_r = J_r \rho = \frac{\rho I}{4\pi r^2}$ . En intégrant  $E_r$  entre *r* et

l'infini on trouve  $V = \rho I / 4\pi r$ .

En pratique on utilise 4 électrodes : *A* et *B* « de courant », *M* et *N* « de potentiel ». Le potentiel devient :

$$\Delta V = \frac{\rho I}{2\pi} \left[ \frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_3} + \frac{1}{r_4} \right] \text{ d'où la résistivité apparente du}$$

terrain  $\rho_a = K \frac{\Delta V}{I}$  avec :

- $r_1 = AM$ ,  $r_2 = AN$ ,  $r_3 = BM$  et  $r_4 = BN$ .
- *I* : courant injecté (mA).
- $\Delta V$  : d.d.p. mesurée (mV).
- *K* : facteur géométrique du dispositif qui ne dépend que de  $r_1$ ,  $r_2$ ,  $r_3$  et  $r_4$  [5, 6].

L'interprétation des courbes de sondages électriques se faisait manuellement par la corrélation des courbes observées à des courbes théoriques calculées et cataloguées. Actuellement les sondages sont interprétés automatiquement par l'inversion, en se basant sur la méthode des moindres carrés pondérés qui consiste à minimiser  $\varepsilon = \text{Erreur Critérienne}$  [6]. C'est une erreur entre les données expérimentales ( $\rho_a^{obs}(x_i)$ ) et les données calculées [7] du modèle théorique ( $\rho_a^{cal}(x_i)$ ), telle que :

$$\varepsilon = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{[\rho_a^{cal}(x_i) - \rho_a^{obs}(x_i)]^2}{(\rho_a^{obs}(x_i))^2}$$

où *n* est le nombre de points d'observation ( $x_i$ ). La résolution obtenue est jugée stable lorsque  $\varepsilon$  est minimale. En pratique on accepte un moindre carré  $\varepsilon$  inférieur à 10 % ; s'il est plus important, alors le terrain n'est pas de type 1-D. Dans ce cas les modélisations de type 2-D voire 3-D s'avèrent nécessaires.

##### ● 4.2 Application à la NAS de Sousse :

Le matériel utilisé dans cette étude est le SYSCAL-R2 (IRIS-Instruments-France) et le dispositif adopté est celui de Schlumberger. L'interprétation qui consiste à trouver le nombre, les résistivités réelles et les épaisseurs des couches est améliorée par un logiciel « PISE4 » [8].

Les entrées de ce logiciel se font en deux étapes : d'abord la liste des données expérimentales (si elles ne se sont pas dans un fichier préexistant) saisies en couples de [*AB/2*(m) ;  $\rho_a(\Omega.m)$ ], ensuite la liste du modèle théorique à savoir le nombre *n* de couches du modèle tabulaire et les caractéristiques des *n* couches [ $e_i$ (m) ;  $\rho_i(\Omega.m)$ ] ; bien entendu pour la dernière couche on donne  $\rho_n(\Omega.m)$  seulement).

Le logiciel calcule les résultats du modèle théorique [7] et les compare aux données expérimentales. L'inversion se fait en appliquant la méthode des moindres carrés pondérés.

Les sorties du logiciel PISE4 sont sous forme d'un graphique où figurent : la courbe des résistivités apparentes expérimentales  $\rho_a^{obs} = f(AB/2)$  en croix, la courbe des résistivités apparentes théoriques  $\rho_a^{cal} = f(AB/2)$  en continu, les caractéristiques du modèle jugé satisfaisant et la valeur de l'erreur  $\varepsilon$  (fig. 5).

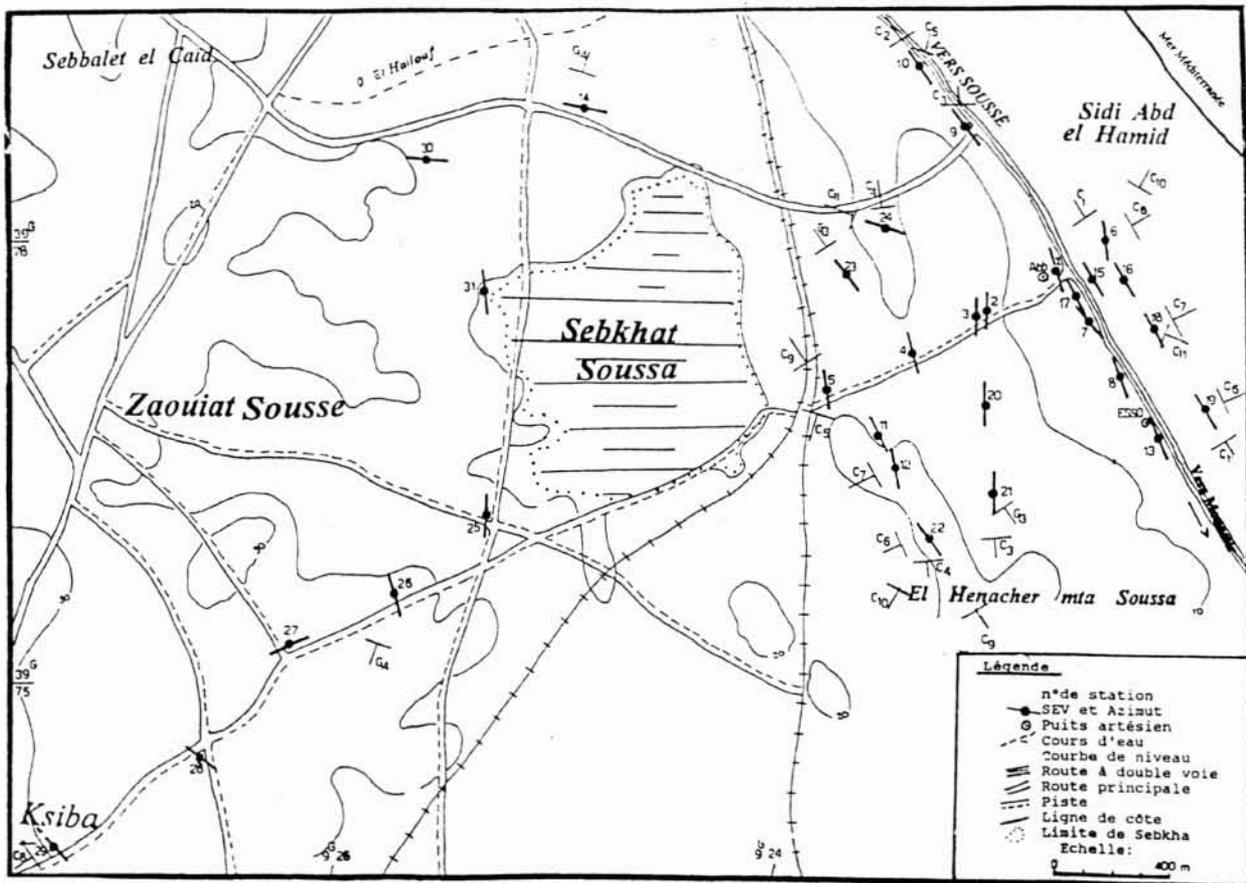
Trente et un SEV de longueurs de lignes d'émission de courant *AB/2* variant de 300 à 500 m sont exécutés suivant plusieurs profils (fig. 4) choisis pour :

- définir l'étendue de la NAS d'abord dans la direction des puits *P1* et *P2* afin de trouver une relation entre ces deux derniers, ensuite à l'Ouest de la Sebkhâ dans l'objectif de suivre la couche argileuse la surmontant. Ce point est envisagé pour trouver une zone d'alimentation de la NAS ;
- étudier la NAS dans une direction perpendiculaire à la première, c'est-à-dire dans la direction mer-Sebkhâ ;
- étudier en détail la NAS autour du puits *P1* d'eau sulfureuse.

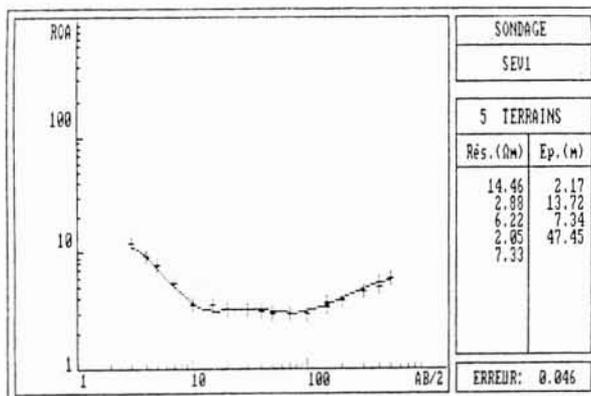
##### ● 4.3 Résultats et Interprétations

Les résultats d'un SEV n'ont de sens réel que lorsqu'ils sont calés sur un point connu. Le puits *P1* creusé dans la région, nous a servi de point de calage pour notre méthode en exécutant à proximité le SEV1 dont la courbe est interprétée convenablement (erreur très faible et de l'ordre de 4,6 %) à cinq couches (fig. 5). Les résultats du SEV1 et ceux du puits *P1* sont présentés dans le tableau 2 pour corrélation, d'où on déduit que :

- la première couche est de nature, de résistivité et d'épaisseur variables,
- la deuxième couche est constituée d'un sable humide, de résistivité de l'ordre de 2  $\Omega.m$  et d'épaisseur 13 m environ,
- la troisième couche est constituée d'argiles, de résistivité supérieure à 6  $\Omega.m$  et d'épaisseur 8 m environ,
- la quatrième couche constituée de sable mouillé (d'après le puits *P1*) a une épaisseur de l'ordre de 47 m (d'après le SEV1),
- sous le sable mouillé, le SEV1 a détecté une cinquième couche de résistivité réelle supérieure à 6  $\Omega.m$  (comparable à celle de la troisième couche) probablement de type argileuse,
- l'aquifère loge donc dans la quatrième couche (sableuse) et son caractère artésien le doit à sa présence entre les deux couches imperméables (argileuses).



4. Plan de position des SEV et des profils.



5. Résultats de l'interprétation du SEV1 à Sousse.

Ces résultats peuvent être généralisés à la totalité du secteur prospecté puisque la majorité des SEV (à l'exception de quelques-uns) présentent une ressemblance avec SEV1. Des courbes de quelques SEV témoignant de cette ressemblance (et d'une exception), sont présentés dans la figure 6.

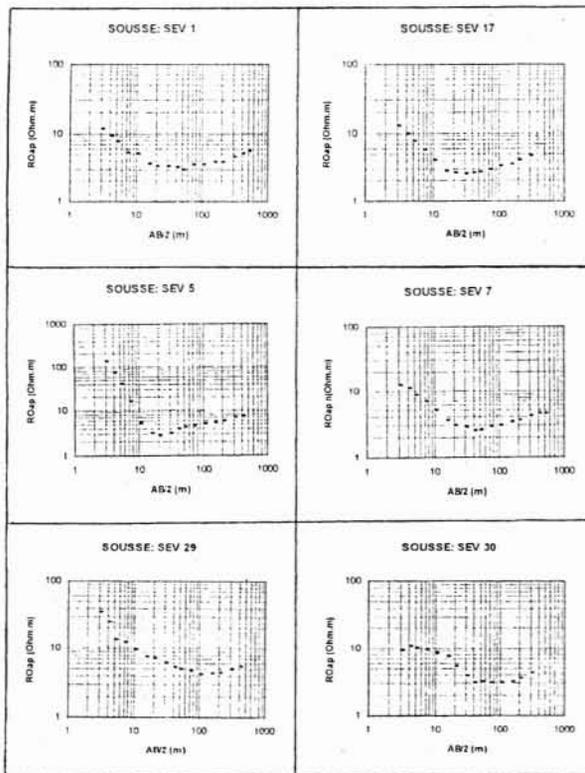
#### 4.3.1 Interprétation qualitative : pseudosections

Suivant un profil donné et sans tenir compte de la topographie, on porte en abscisse (échelle linéaire) les lieux des stations des SEV et en ordonnée (échelle logarithmique) les valeurs des résistivités apparentes correspondantes. Puis on trace les courbes d'égalité de valeurs. On obtient une sorte de coupe verticale (*Pseudosection*) suivant le profil considéré. C'est un procédé qualitatif qui fournit une idée sur la répartition des résistivités tant latéralement que verticalement [9].

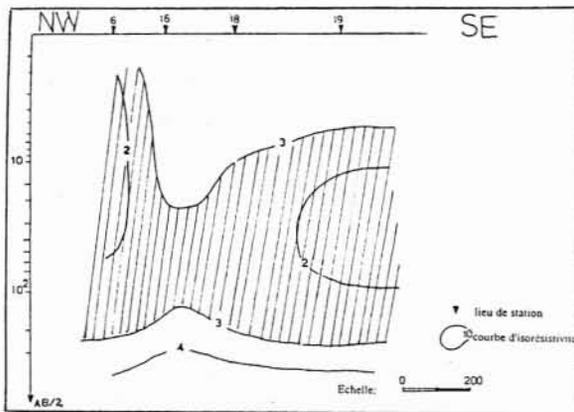
• *Suivant C1 (fig. 7)* : sur cette pseudosection on a une anomalie conductrice ( $\rho_a < 3 \Omega.m$ ) continue le long de la coupe

Tableau 2. — Résultats du puits P1 et du SEV1.

Données du Puits P1			Interprétation du SEV1		
Couche	Nature	Epaisseur (m)	Couche	$\rho(\Omega.m)$	Epaisseur (m)
1	dépôts récents	2,5	1	14,46	2,17
2	sables humides	12,5	2	2,88	13,72
3	argiles vertes	8,0	3	6,22	7,34
4	sables mouillés	—	4	2,05	47,45
			5	7,33	—



6. Résultats de quelques SEV à Soussé.



7. Pseudosection suivant le profil C1.

et une perturbation en dessous des SEV6 et 16, qui se manifeste apparemment par un amincissement de l'anomalie au SE du SEV16 et par une discontinuité de la courbe 2 Ω.m. Au dessous de cette anomalie les courbes ( $\rho_a > 3 \Omega.m$ ) sont continues et horizontales avec une légère perturbation au niveau du SEV16.

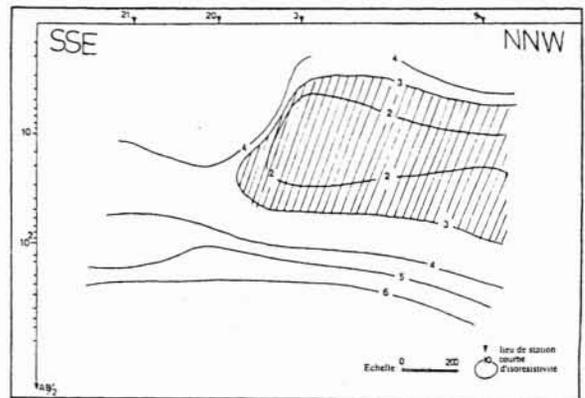
• *Suivant C2 (fig. 8)* : là aussi on a une anomalie conductrice ( $\rho_a < 3 \Omega.m$ ) continue le long du profil et une nette perturbation entre les SEV1 et 17. Cette dernière se manifeste par un étranglement du corps conducteur, par une discontinuité de la courbe 2 Ω.m et par une ondulation de la courbe 3 Ω.m. En dehors de cette anomalie conductrice, les courbes ( $\rho_a > 3 \Omega.m$ ) sont continues et présentent une perturbation au dessous du corps conducteur et au même niveau (entre les SEV1 et 17).

On note que le phénomène perturbateur dans cette coupe est le même que dans la coupe précédente (suivant C1) et il serait perpendiculaire à ces deux coupes (parallèles l'une à l'autre).

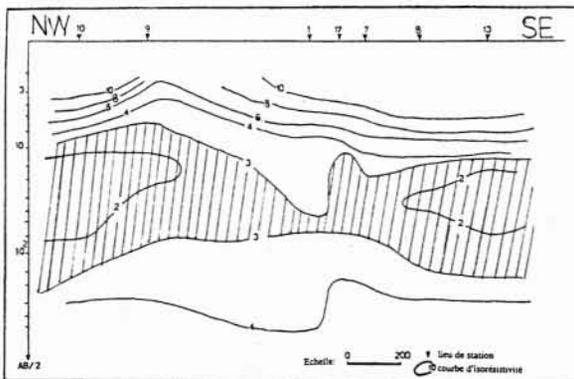
• *Suivant C3 (fig. 9)* : on a le même cas de figure que les deux pseudosections précédentes avec cette fois-ci un biseau-tage (disparition complète) de l'anomalie conductrice entre les SEV3 et 20 du côté SSE de la coupe. Au dessous de l'anomalie conductrice, les courbes ( $\rho_a > 3 \Omega.m$ ) sont continues et présentent une légère perturbation au même niveau.

• *Suivant C4 (fig. 10)* : de direction NNW-SSE, cette coupe présente le même cas de figure que la coupe précédente. La seule différence y est la présence de deux anomalies résistives superficielles situées l'une au SSE aux niveaux des SEV12 et 22 (elle représente les calcaires Villafranchiens affleurant) et l'autre au niveau du SEV10 (elle représente des terrains remaniés).

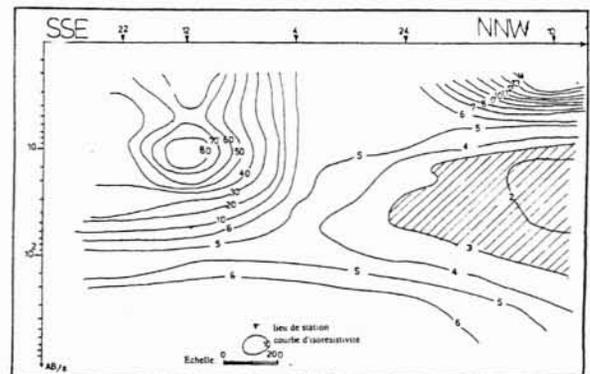
L'analyse comparative de ces pseudosections montre qu'il y a un phénomène perturbateur qui concerne l'anomalie conductrice (représentant le réservoir de la NAS) et les entités en dessous (substratum du réservoir) et serait de direction NE-SW.



9. Pseudosection suivant le profil C3.



8. Pseudosection suivant le profil C2.



10. Pseudosection suivant le profil C4.

### 4.3.2 Interprétation quantitative

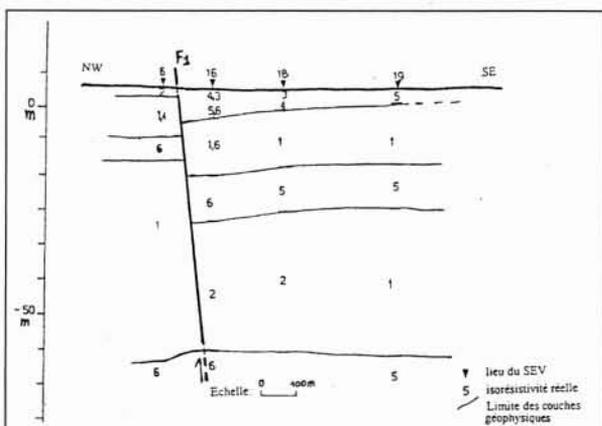
#### 4.3.2.1 Coupes Géoelectriques

Sur un profil topographique comprenant les lieux des stations des SEV, on porte à l'aplomb de chaque point, les différentes couches (épaisseurs et résistivités réelles) déduites de l'interprétation des SEV. Puis on relie les niveaux ou « couches » de mêmes résistivités, ce qui donne une coupe géoelectrique (par analogie aux coupes géologiques). C'est un procédé quantitatif, qui fournit une image nette sur la répartition des résistivités et des épaisseurs tant latéralement que verticalement [10].

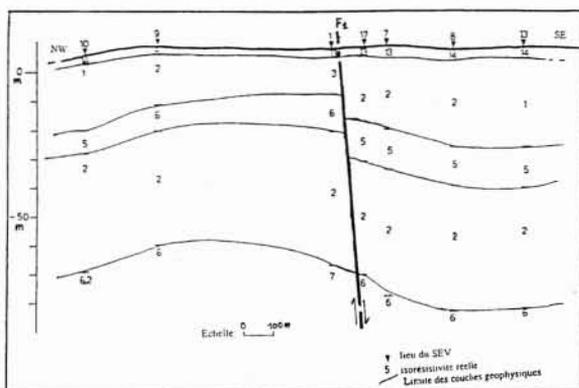
• *Suivant C1 (fig. 11)* : cette coupe parallèle à la route Sousse-Monastir, de direction NW-SE, présente 5 couches qui sont de haut en bas :

- une première couche mince de résistivité variable et qui correspond à des sables remaniés, remblais, etc...,
- une deuxième couche d'épaisseur allant jusqu'à 18 m, de résistivité faible de l'ordre de  $2 \Omega.m$ . Il s'agit de sables humides représentant la nappe phréatique de Sousse,
- une troisième couche d'épaisseur allant jusqu'à 12 m, de résistivité relativement forte variant de 5 à  $7 \Omega.m$ . Elle correspond aux argiles imperméables surmontant la NAS,
- une quatrième couche d'épaisseur variable mais très importante et pouvant dépasser par endroits les 50 m. Sa résistivité est faible et de l'ordre de  $2 \Omega.m$ . Elle correspond aux sables mouillés constituant l'aquifère de la NAS,
- une cinquième couche de résistivité comparable à la troisième couche (de l'ordre de  $6 \Omega.m$ ). Il s'agit du substratum argileux imperméable dont l'épaisseur reste indéterminée.

Il faut noter que la partie SE est relativement plus basse (anormalement) par rapport à la partie NW. Cela serait l'effet du phénomène perturbateur (§ 4.3.2) qu'on peut traduire par une faille (F1) se situant entre les SEV6 et SEV16.



11. Coupe géoelectrique suivant le profil C1.



12. Coupe géoelectrique suivant le profil C2.

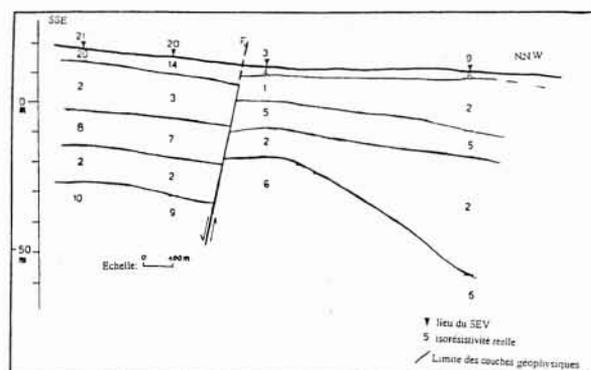
• *Suivant C2 (fig. 12)* : cette coupe a l'avantage de passer par les deux puits P1 et P2. Elle présente pratiquement les mêmes couches ainsi que la faille F1 qui a fait effondrer la partie SE, entre les SEV1 et SEV17. Cet effondrement explique bien le fait que la profondeur de l'eau dans le puits P2 (54 m) est plus importante que celle dans le puits P1 (30 m). *A priori* on peut dire que cette faille F1 joue un rôle important (de barrière ?) entre un aquifère NW sulfureux et un aquifère SE non sulfureux mais de même nature (artésien et même de salinité). On peut même prétendre que le compartiment NW pourrait être influencé par les dépôts (sulfatés) de la Sebkhia, ce qui peut expliquer la présence des sulfures.

• *Suivant C3 (fig. 13)* : sur cette coupe, la faille (F1) est bien visible et elle a apparemment fait basculer la partie sud vers le bas. La couche logeant l'aquifère est épaisse au nord et mince au niveau de la faille où elle est mise en contact latéralement à une couche argileuse imperméable.

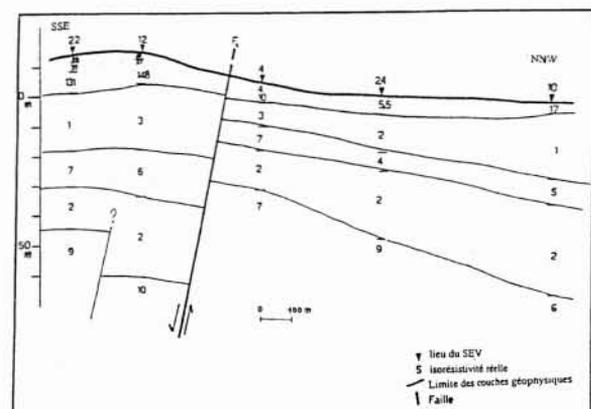
• *Suivant C4 (fig. 14)* : c'est une coupe perpendiculaire à la précédente et de direction NE-SW. On retrouve pratiquement le même cas du modèle à 5 couches. La faille F1 est visible entre les SEV6 et SEV15. Entre les SEV7 et SEV21 on peut placer une deuxième faille F2, qui a fait effondrer la partie centrale. Cette faille F2 est visible sur d'autres profils (non présentés ici), de direction NNW-SSE et presque perpendiculaire à F1.

D'après l'interprétation des quatre coupes précédentes (et d'autres non présentées ici) on peut retenir les résultats suivants :

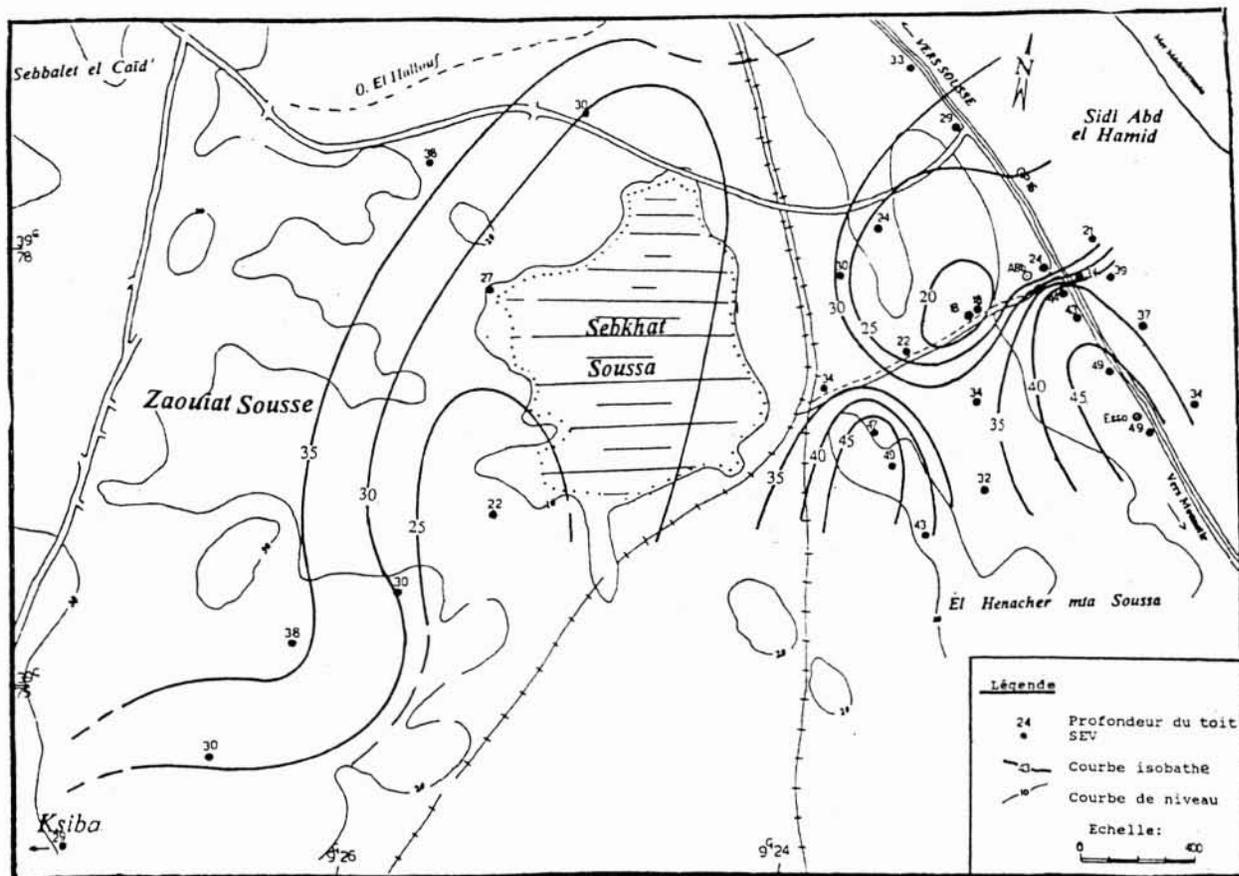
- 1) le terrain est formé (jusqu'à la profondeur d'investigation de la méthode) par l'alternance de cinq couches. L'aquifère logeant dans des sables (quatrième couche) se trouve coincé entre deux couches argileuses (troisième et cinquième couches) d'où son caractère artésien ;



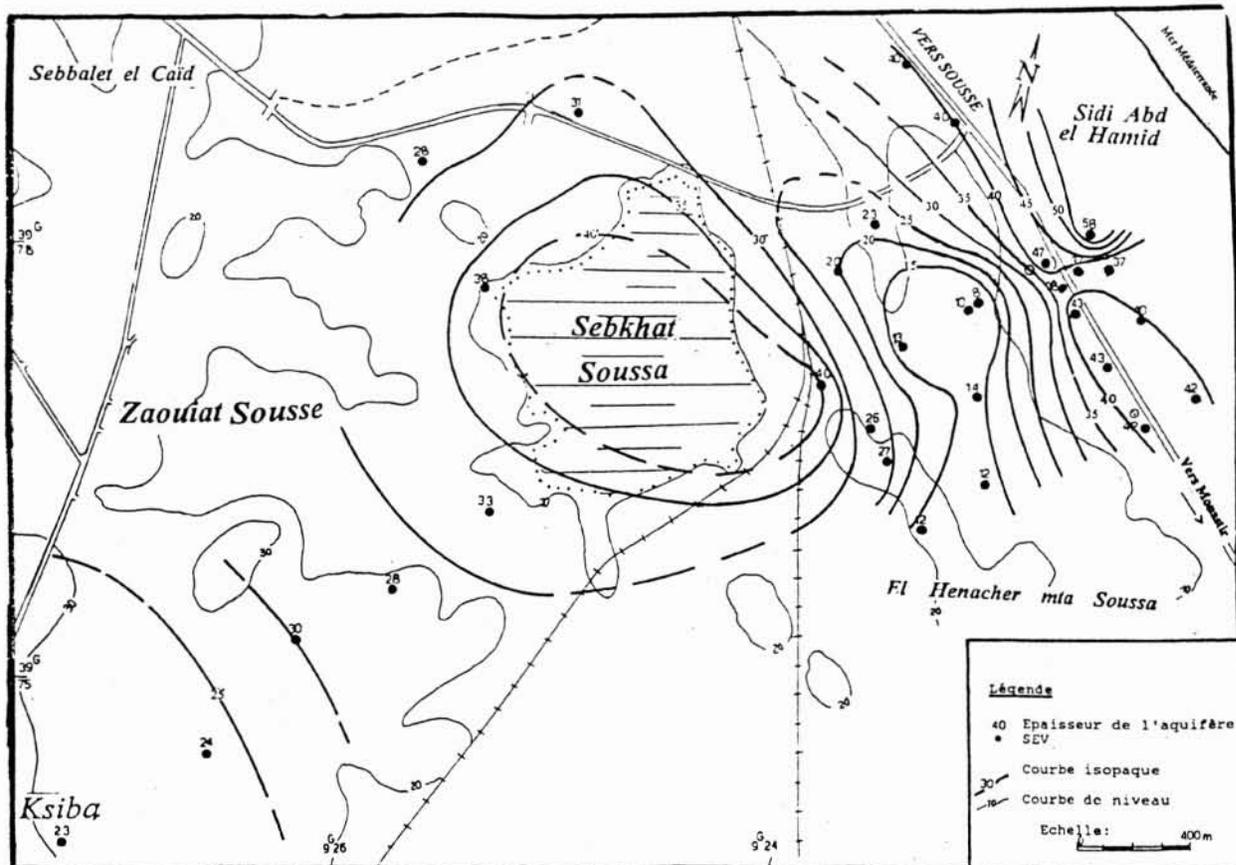
13. Coupe géoelectrique suivant le profil C3.



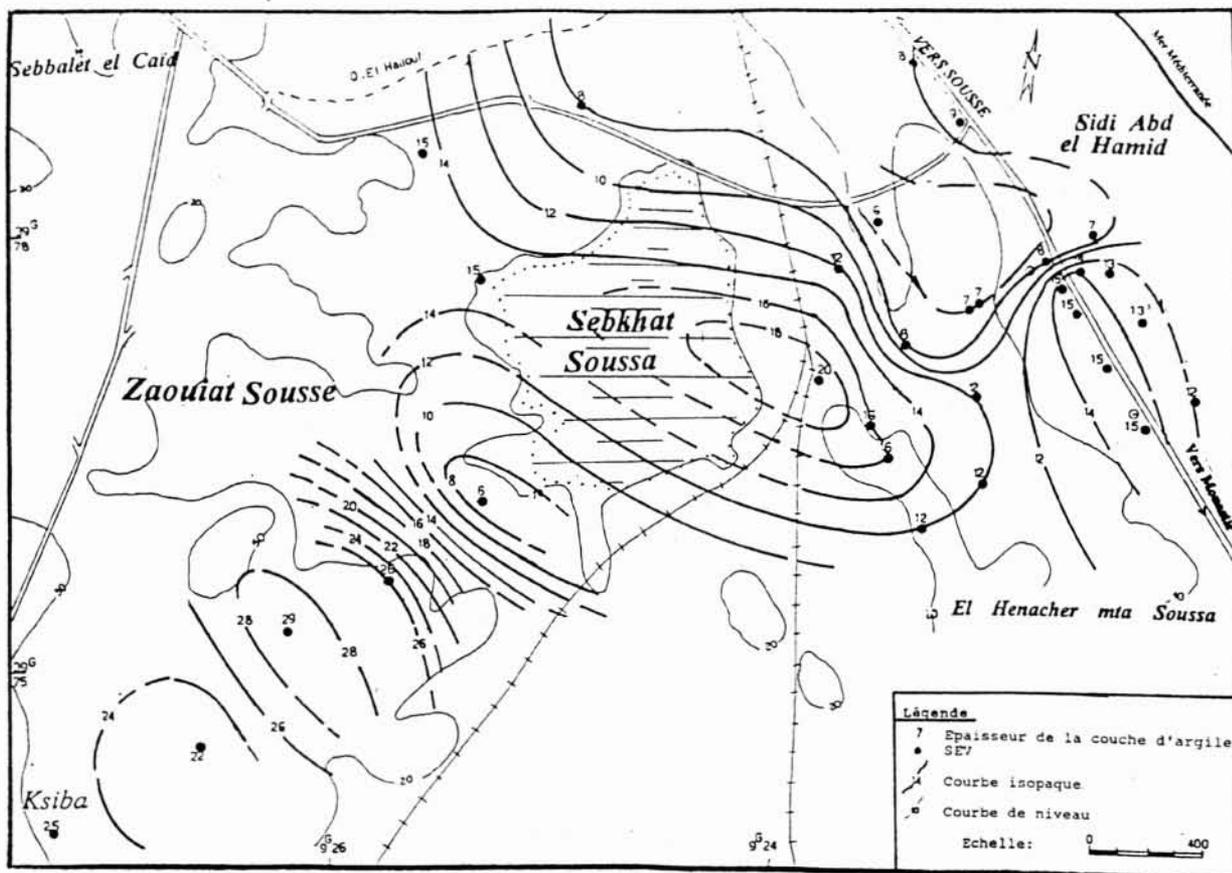
14. Coupe géoelectrique suivant le profil C4.



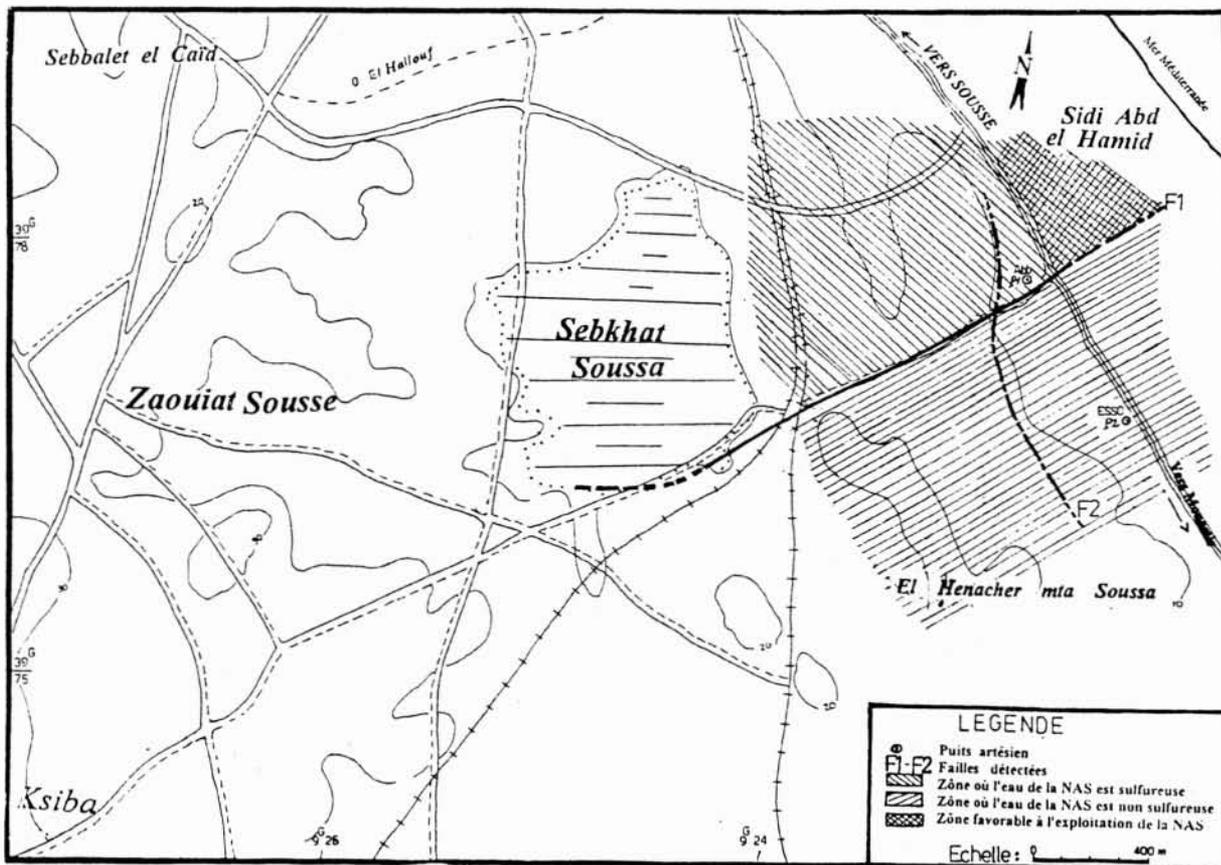
15. Carte en isobathes du toit de la NAS.



16. Carte en isopaques de la couche aquifère de la NAS.



17. Carte en isopaques de la couche argileuse surmontant la NAS.



18. Carte de synthèse des résultats géophysiques.

2) il existe une faille *F1* de direction NE-SW, qui a fait basculer vers le bas toute la partie Sud et par conséquent a approfondi la NAS et elle touche la Sebkha (ce qui pourrait être une explication quant à l'origine des sulfures par transformation des sulfates des couches gypseuses). Le rôle de cette faille peut expliquer aussi la présence de sulfures dans le compartiment Nord (où il y a le puits *P1*) et leur absence dans le compartiment Sud (où il y a le puits *P2*) en imaginant deux écoulements parallèles de l'Ouest vers l'Est, séparés par la faille *F1* ;

3) il existe une deuxième faille *F2* de direction NNW-SSE et son rôle est secondaire. Elle a fait effondrer le compartiment Est par rapport au compartiment Ouest en approfondissant l'aquifère. Elle plonge en profondeur en allant vers le Nord.

### 3.2.2 Cartographie de NAS

Pour suivre d'une manière globale l'évolution de l'aquifère sur toute la zone prospectée, une cartographie de la NAS s'impose. Cette cartographie consiste à établir plusieurs cartes à savoir :

- carte isobathe (mêmes profondeurs du toit de la NAS),
- carte isopaque (mêmes épaisseurs de la NAS),
- carte isopaque de la couche argileuse surmontant la NAS.

• *Carte isobathe* (fig. 15) : cette carte présente des zonalités de profondeurs. On y distingue :

— profondeurs faibles, où l'aquifère est à moins de 25 m de la surface. Ce sont surtout les zones autour des SEV1 et 2 d'une part et SEV25 d'autre part ;

— profondeurs moyennes, où l'aquifère se trouve entre 25 et 40 m à partir de la surface. C'est une zone où les discontinuités sont pratiquement absentes, donc calme ;

— profondeurs fortes, où l'aquifère se trouve à plus de 40 m de la surface. Il y a deux zones : l'une longe la route Sousse-Monastir, l'autre centrée autour des SEV11 et SEV12. Ces deux zones sont séparées par une bande de profondeurs inférieures à 35 m marquant la trace de la faille *F2*. La faille *F1* est marquée par un fort gradient de courbes séparant l'aquifère superficiel de l'aquifère profond.

L'intérêt d'une telle carte est grand puisqu'en chaque point de la zone, on peut connaître la profondeur exacte de la NAS, à partir de la surface du sol.

• *Carte isopaque* (fig. 16) : avec cette carte on peut connaître en tout point l'épaisseur de l'aquifère. On note qu'il existe une zonalité d'épaisseurs : on y distingue de fortes épaisseurs, surtout dans la partie Est où l'aquifère dépasse les 55 m de puissance. Cette anomalie de puissance se superpose avec l'anomalie de profondeurs, ce qui suppose qu'il y ait effondrement puis épaissement de l'aquifère. Les failles *F1* et *F2* sont bien présentées par des gradients forts de courbes. La zone de Sebkha présente aussi de fortes puissances de l'aquifère, qui dépassent les 40 m.

• *Carte isopaque de la couche argileuse surmontant la NAS* (fig. 17) : cette carte est établie dans le but de trouver une zone d'alimentation de la NAS. En fait la carte piézométrique a révélé l'existence d'une ligne de partage d'alimentation à l'extrême Ouest de la zone (§ II). Si la couche argileuse surmontant la NAS se biseaute avant cette zone de partage, la NAS tout comme la nappe phréatique, peut être concernée par cette alimentation. Mais jusqu'aux limites de la zone étudiée, il n'en est rien, puisque la carte isopaque de la couche argileuse montre qu'au contraire, en allant vers l'Ouest, la zone imperméable s'épaissit. La zone d'alimentation serait donc plus loin.

## V ■ CONCLUSION

L'étude géophysique par SEV de la nappe artésienne superficielle (NAS) de Sidi Abdel Hamid à Sousse est concluante

pour une éventuelle exploitation. Les sulfures présents dans le puits *P1* (40 mg/l) et absents dans le puits *P2*, peuvent être le résultat du rôle important qu'a joué surtout la faille *F1* détectée par cette étude. En fait de direction NE-SW, cette faille a touché Sabkha Sousse où elle aurait lessivé les couches gypseuses (sulfatées) et par conséquent alimenté en sulfures la NAS. Le caractère étanche de la faille *F1* a joué le rôle de barrière pour les sulfures, ce qui explique leur présence dans le compartiment Nord (basculé vers le haut) où il y a le puits *P1* et leur absence dans le compartiment Sud (basculé vers le bas) où il y a le puits *P2* (fig. 18). Les cartes établies fournissent un support de base très important pour définir les caractéristiques de la NAS.

Enfin, pour assurer une bonne exploitation d'eau sulfureuse de la NAS, il est recommandé :

— d'étendre la prospection géophysique au delà de la zone étudiée,

— de procéder à des essais de pompage sur le puits *P1*,

— de réaliser un puits *P3* d'abord de reconnaissance et ensuite d'exploitation de la NAS dans un secteur favorable, qui peut être au Nord de la faille *F1* (fig. 18).

## REMERCIEMENTS

Au terme de ce travail, les auteurs tiennent à remercier d'abord la société SONOBOIS (Sousse) d'avoir contribué au financement de la campagne géophysique, ensuite les professeurs Pierre Andrieux et Yves Alboys (France) de leurs contributions à l'interprétation des résultats.

## RÉFÉRENCES

- [1] AMAMRI A. et BEDIR M. (1989). — « Les Bassins quaternaires du Sahel central de la Tunisie. Genèse et évolution des Sebkhas en contexte décrochant compressif et distensif ». Géodynamique 4(1), 1989, pp. 49-65.
- [2] DGRE-CRDA (Sousse) (1990). — « Situation de l'exploitation des nappes phréatiques ». Annuaire 1990.
- [3] SFAR F. (1995). — « Nappe artésienne superficielle de Sousse, prospection et caractérisation ». Projet de Fin d'Etudes, Ecole Nationale d'Ingénieurs de Sfax, 1995.
- [4] KOLSI F. (1995). — « Résultats des analyses chimiques et bactériologiques des puits Abbès et Ezzo de Sousse ». Rapport de l'Office de Thermalisme, Tunis 1995.
- [5] TELFORD W. M., GELDORT L. P., SHERIF R. E. et KEYS D. A. (1976). — « Applied geophysics », Cambridge University Press.
- [6] KOEFOED O. (1979). — « Geosounding principle. Resistivity sounding measurements ». Tome 1, Methods in geochemistry and geophysics. 14 A, 277 pp.
- [7] GOGH D. P. (1971). — « The application of linear filter, theory to direct interpretation of geoelectrical resistivity sounding measurements ». Geophysical prospecting, Vol. XIX (2), pp. 192-217.
- [8] GABALDA G. et TABBAGH J. (1994). — « Note explicative du Programme d'Interprétation de Sondages Electriques (PISE4), Version 4 ». ORSTOM-CRG-CNRS, France 1994.
- [9] EDWARDS L. S. (1977). — « A modified pseudosection for resistivity and IP ». Geophysics, Vol. 42, N° 5 (August 1977), pp. 1020-1036.
- [10] VAN N. R. G. and COOK K. L. (1966). — « Interpretation of resistivity data ». U.S. Geol. Survey, Prof. Paper 499.
- [11] KUNETZ G. (1966). — « Principles of direct current resistivity prospecting ». CGG Paris, 1966.
- [12] SUNDE E. D. (1949). — « Earth conduction effects in transmission systems » in Van Nostrand.