

REGARD SUR LES PERSPECTIVES HYDROGEOLOGIQUES PROFONDES DES HAUTES PLAINES SETIFIENNES A TRAVERS LA PROSPECTION ELECTRIQUE

Ahmed Chérif TOUBAL*

RÉSUMÉ

La recherche souligne l'apport de la méthode électrique dans l'identification des potentialités aquifères, dans un milieu particulièrement défavorable caractérisé par l'aridité du climat, la prédominance de nappes de charriage, la présence nocive de roches salines... Les Hautes Plaines Sétifiennes constituent à cet égard un terrain de prédilection : le climat y est semi-aride à aride, avec une pluviométrie réduite (300 à 400 mm), des températures très élevées (24,7° en moyenne à Sétif), et une hydrographie endoréique centrée sur les chotts. La géophysique révèle de surcroît l'existence de structures allochtones imbriquées, souvent associées à un Trias intrusif ou extrusif. Dans ce cadre géologique très complexe, les assises crétacées carbonatées semblent constituer une alternative raisonnable à la nappe phréatique fortement sollicitée.

Mots clés : Prospection électrique - Climat aride - Endoréisme - Chott - Structure allochtone - Trias - Calcaire crétacé - Potentialité aquifère.

GEOELECTRICAL APPROACH OF GROUNDWATER POTENTIALITIES IN THE HIGH PLAINS OF SETIF (ALGERIA)

ABSTRACT

The study shows the contribution of the geoelectrical ground water exploration, in an unfavourable environment, marked by dry climate, predominance of allochthonous formations, and presence of undesirable saltwaters. For that purpose, the High Plains of Sétif constitute a favourite experimental site: the climate is semiarid to arid with low rainfall (300 to 400 mm), very high temperature (mean of 24,7° at Sétif), and endoreic hydrography. Otherwise, the geophysical prospecting shows allochthonous structures associated with intrusive or extrusive triassic formations. In this heterogeneous medium, limestone formations of cretaceous age appears to be promising aquifers in comparison with the upper alluvial aquifer which is over-exploited.

Key Words: Geoelectrical prospecting - Dry climat - Endoreism - Chott - Allochthonous structure - Triassic rock - Cretaceous limestone - Ground water potentialitie.

* U.S.T.H.B., F.S.T.G.A.T., BP 32, 16111 Bab-Ezzouar, Alger - toubal@hotmail.com
- Manuscrit déposé le 17 Novembre 2003, accepté après révision le 17 Juillet 2004.

I - UN CONTEXTE GEOLOGIQUE COMPLEXE

La description géologique qui suit, s'inspire essentiellement des travaux géologiques réalisés par la SONATRACH (Boudjemaa et al., 1972; Guiraud, 1990; Vila, 1980) ainsi que de recherches minières (Okhapkine et Loukianov, 1978) et universitaires (Boudella, 1989). La carte géologique (fig.1) montre quatre ensembles distincts :

1 - Des formations quaternaires et neogenes peu tectonisées

On y reconnaît en particulier :

- Un *Villafranchien* (Qc) constitué par une alternance d'argiles et de marnes à passées de graviers associées à des calcaires lacustres.

- Un *Mio-Pliocène continental* formé d'une accumulation de sables, limons rougeâtres, et de conglomérats dont la puissance peut dépasser les 500 m à l'ouest de Mezlug. L'ensemble repose en discordance angulaire sur le Crétacé supérieur.

2 - Des édifices structuraux charriés

Construits à la faveur d'une tectonique tangentielle prédominante, ils sont représentés par les nappes telliennes (nappe de Djémila et du djebel Sattor) et l'ensemble allochtone sud-sétifien (séries des djebels Zdim, Youssef, Braou, Sékrine et Tella).

- *La nappe de Djémila* qui est essentiellement représentée par des calcaires cristallins du Sénonien supérieur ou calcaires des "Dômes sétifiens", affleure largement dans la bordure Nord de la région. Des calcaires bitumineux surmontés d'altérences marno-calcaires appartenant à l'Yprésien-Lutétien (em) se développent à l'ouest d'El-Eulma.

- *La nappe du djebel Sattor* apparaît, elle, dans l'angle sud-ouest de la carte. Cette nappe réunit le Miocène marin transgressif (m'), le Lutétien supérieur (eh), l'Yprésien-Lutétien inférieur (ed) et le Sénonien supérieur (CC). Les deux nappes reposent en discordance sur l'ensemble allochtone sétifien.

L'ensemble allochtone sud-sétifien constitue une unité complexe incluant des formations allant du Jurassique inférieur au Crétacé supérieur.

3 - Le parautochtone et autochtone hodnéens

Au sud-ouest de la région prospectée, le djebel El Hassane (1291 m), orienté sensiblement ouest-est, constitue une zone de passage vers l'autochtone hodnéen.

4 - Le trias exotique ou extrusif (t)

Il s'agit de masses broyées argilo-gypseuses englobant des débris calcaro-dolomitique de taille variée. A Guellal, l'épaisseur de sel révélée par les sondages serait de 100 m (Okhapkine et Loukianov, 1978).

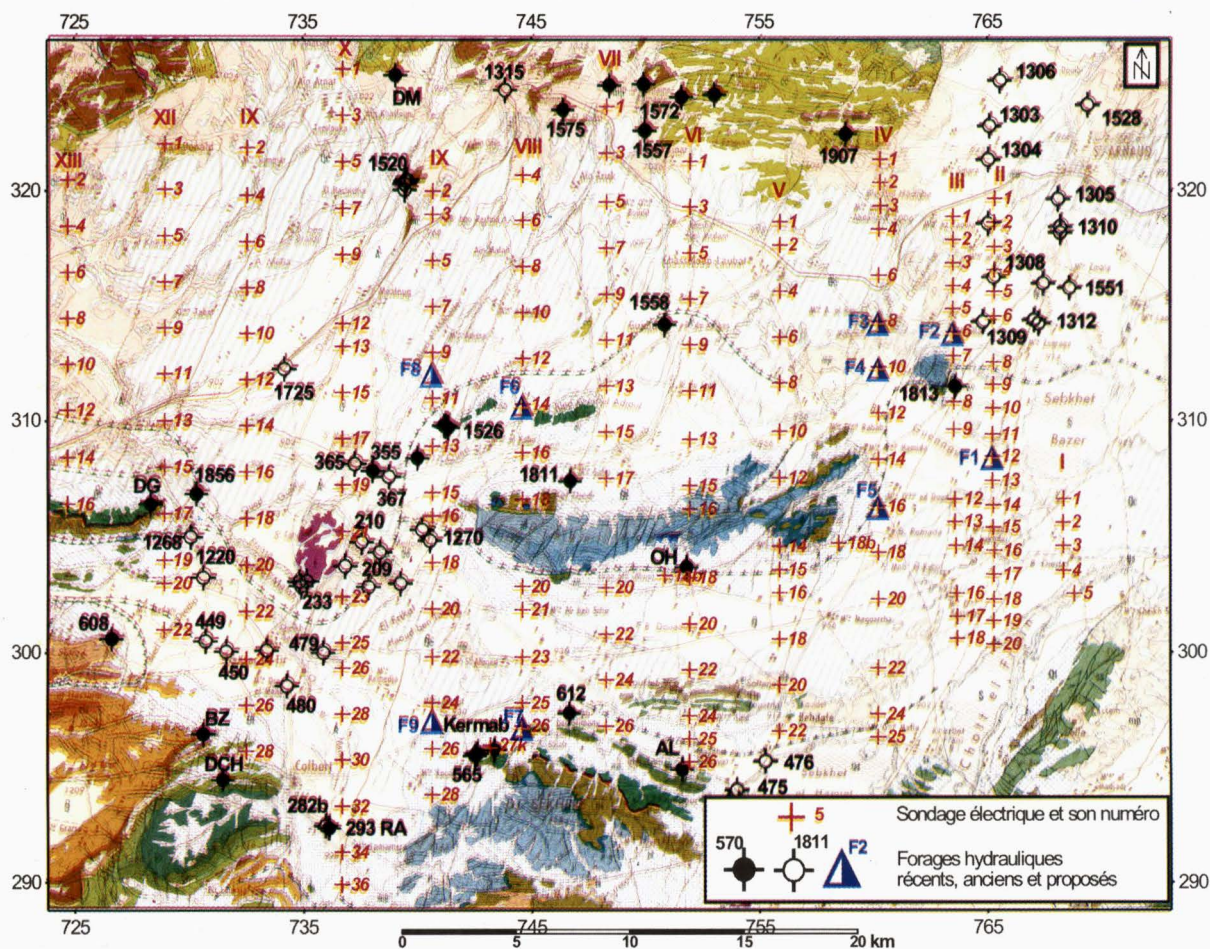
II - CONSEQUENCES HYDROGEOLOGIQUES

L'étude géologique permet d'identifier les formations suivantes, susceptibles de constituer des aquifères :

1 - Dépôts alluvionnaires quaternaires

- Les limons, sables et graviers des terrasses inondables (A) sont exploités par des puits domestiques à des fins d'irrigation à des débits inférieurs à 5 l/s. Leur eau est assez minéralisée (2 à 4 g/l).

REGARD SUR LES PERSPECTIVES HYDROGÉOLOGIQUES PROFONDES DES HAUTES PLAINES SETIFIENNES À TRAVERS LA PROSPECTION ÉLECTRIQUE



- Les dépôts limoneux et salifères des marécages et Sebkhas (S) sont moins aquifères, fournissant en période pluviale une eau très salée. En été l'eau s'évapore laissant se déposer une croûte de sel.

- Les alluvions quaternaires anciennes (Q) formées de limons sableux, sables, graviers, cailloutis, galets et arènes sont exploitées au moyen de puits à des débits de 3 à 4 l/s (minéralisation 0.9 à 1.2 g/l).

2 - Ensemble aquifère du villafranchien et du mio-pliocène (Qc – mp)

Dans cet ensemble, les intercalations constituées de graviers, galets et de calcaires constituant l'horizon aquifère, reposent sur un substratum argileux mio-pliocène qui l'isole du Crétacé sous-jacent. Au niveau de la saline de Guellal, le réservoir atteint une épaisseur de 35 m, la transmissivité y étant d'environ $2.3 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$. La minéralisation de l'eau varie entre 0.6 et 1.1 g/l pouvant atteindre 5 g/l dans les zones proches des dépôts triasiques.

3 - Nappes de djemila et du djebel sattor

Les niveaux calcaires du Sénonien supérieur (CC) de la nappe de Djémila peuvent fournir des débits de 10 l/s, ce qui n'est pas négligeable (Mikhailov, 1978, 1979). Les marnes du Miocène marin de la nappe du djebel Sattor serait par contre d'une productivité médiocre.

4 - Ensemble allochtone sud-sétifien.

A Guellal, les calcaires gris très fissurés de l'Aptien (n5) contiennent une nappe épaisse de 115 m dont la transmissivité avoisine les $4.6 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$ (Mikhailov, 1978). Cette nappe qui repose sur les marnes schisteuses crétacées, est captive sous les sédiments argileux mio-pliocènes sus-jacents. Ces caractéristiques font de l'Aptien fissuré un excellent réservoir aquifère.

L'ensemble aquifère jurassique est constitué de dolomies, calcaires, et marnes, fissurés à des degrés divers. L'ensemble repose généralement en contact anormal sur le Crétacé avec lequel il entretient des relations hydrodynamiques. Le sondage Bazer 1813 E10 (fig. 1) qui capte les calcaires cristallins du Jurassique sur une épaisseur de 100 m, donne un débit de 6 l/s pour un rabattement de 56 m. La transmissivité est d'environ $5.8 \times 10^{-4} \text{ m}^2/\text{s}$ (Mikhailov, 1978, 1979).

5 - Le trias.

Le Trias peut être aquifère à la faveur de ses brèches argilo-gypsifères, les argiles et couches de sel constituant les épontes imperméables de la nappe. Les eaux du Trias possèdent une minéralisation variant entre 55 et 305 g/l. Ces eaux impropres à la consommation et à l'irrigation peuvent contaminer les aquifères du Villafranchien et du Quaternaire. A cet effet, l'un des objectifs primordiaux de la géophysique sera de délimiter les zones salines.

III – LE MODELE GEOPHYSIQUE

1 - Problematique de l'interprétation

La campagne géophysique a comporté 180 sondages électriques (SE), réalisés selon le dispositif Schlumberger, avec une longueur d'émission maxima de 4000 m (Toubal, 2000). Les sondages sont disposés suivant 13 profils nords-sud espacés de 3.5 à 4 km, les SE étant distants d'environ 2 km sur ces profils (fig. 1). Pour une bonne corrélation entre paramètres géophysiques et géologiques, certains sondages électriques ont été exécutés aussi près que possible de forages hydrauliques. Ce qui a permis de procéder à leur étalonnage et d'établir l'échelle locale des résistivités.

Dans certains cas, on dénote certains écarts entre le modèle géophysique et les données de forage, en ce qui concerne l'évaluation des

épaisseurs. Ces différences s'expliquent en partie par les désordres structuraux et variations de faciès induits par la tectonique sur des distances parfois très petites.

La figure 2 illustre à cet égard les difficultés rencontrées : Sous un recouvrement argileux à galets [0-80 m], le forage 1811, montre l'existence de calcaire crétacé gris foncé incluant des intercalations marneuses [80-216 m] et de calcaire gris intercalé de calcaire rouge [216-400 m]. Le SEV 7-17, du type H, situe les calcaires du Crétacé à 116 m de profondeur, leur attribuant la résistivité de 1000 $\Omega.m$. Le recouvrement argileux plio-quaternaire présente des résistivités de 6 $\Omega.m$ pour la fraction franchement pélitique à 20 $\Omega.m$ pour le mélange argilo-graveleux.

Le SEV 8-18, situé à 2.5 Km du forage, aux abords immédiats du Djebel Youssef accuse un décalage très net vers les hautes résistivités suite à l'existence de masses carbonatées sub-affleurantes très résistantes. L'interprétation géophysique, conjuguée au modèle structural allochtoniste, met en évidence l'existence d'une formation jurassique carbonatée (130 $\Omega.m$,

épaisseur 50 m), charriée sur une formation calcaire, probablement à intercalations marneuses, de l'Aptien (70 $\Omega.m$, épaisseur 250m), reposant elle même sur des calcaires dolomitiques massifs (3000 $\Omega.m$) appartenant vraisemblablement au Barrémien.

Les résultats de l'interprétation géophysique (Toubal, 2000) sont exprimés sous forme de cartes selon des formats difficilement reproductibles ici. Pour cette raison, nous nous limiterons à un nombre restreint de documents.

2 - Principaux résultats

- Coupes VI (fig. 3).

Au nord, la nappe de Djémila représentée par des calcaires très résistants du Sénonien supérieur (500 à 1000 $\Omega.m$), se poursuit en profondeur jusqu'à l'aplomb de l'oued Rass El Ma où elle bute sur les formations crétacées. Ces dernières se différencient de par leur fissuration, par des valeurs de résistivité nettement plus basses (100 à 300 $\Omega.m$). Il s'en dégage ainsi un front de chevauchement que nous situons entre les SE VI-7 et VI-9. Par ailleurs, les

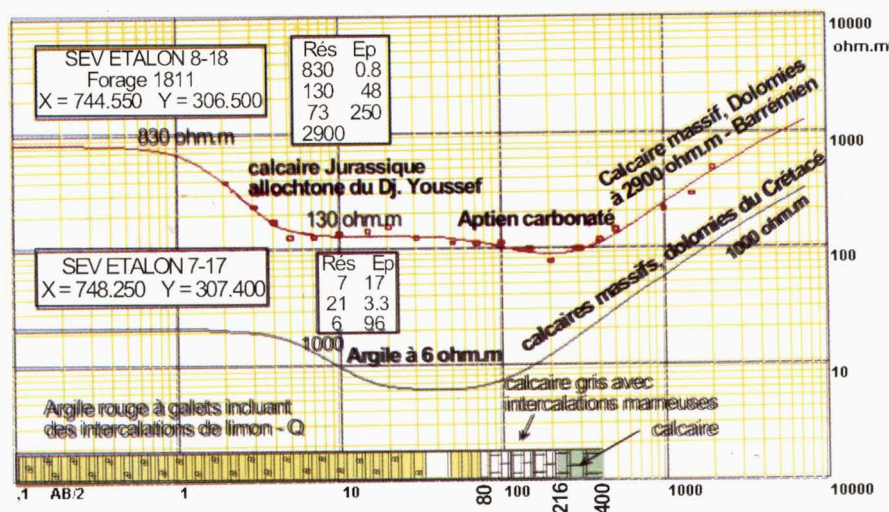


Fig. 2 – Exemple d'interprétation de sondages électriques sur structures allochtones
Example of the interpretation of field curves over allochthonous structures

dépôts alluvionnaires sont depuis Tinar au nord, jusqu'aux djebel Youssef au sud, de nature essentiellement pélique (10 Ω .m). Ces sédiments argileux sont recouverts d'une couche d'alluvions grossières (Q : 40 à 100 Ω .m) dont l'épaisseur n'excède pas les 100 m.

Au centre, le djebel Youssef revêt l'aspect d'une lame carbonatée épaisse de 200 m et caractérisée par des résistivités appréciables (100 – 400 Ω .m). Cette lame repose sur d'épaisses formations crétacées, constituées au moins de deux niveaux calcaires distincts.

Au sud du djebel Youssef les formations crétacées sont peu profondes. Dans ce secteur, les assises calcaires de l'Aptien (n5 : 60 à 260 Ω .m) sont séparées des calcaires dolomitiques du Cénomanien-Turonien (C : 700-1000 Ω .m) par un horizon marneux daté probablement de l'Albien-Vraconien (vn). Cet horizon se termine en biseau vers le sud, pour disparaître complètement à l'aplomb du SE 6-24.

A la limite sud de la coupe, les formations fissurées et karstifiées du djebel Sékrine, semblent être affectées de nombreux accidents.

– Coupes VIII (fig. 3).

La coupe VIII s'étend depuis la Wilaya de Sétif au nord, jusqu'au djebel Sékrine au sud, traversant dans sa partie médiane la terminaison occidentale du djebel Youssef.

Au nord, la nappe de Djémila dont le front se situe au niveau du SE VIII-10, chevauche à l'est une succession de formations constituées de haut en bas :

- de calcaires appartenant à l'Aptien (n5) à 80 Ω .m, épais de 30 à 250 m,
- de marnes (n5a) à 10 Ω .m, épaisses de 90 à 250 m,

- de calcaires massifs et de dolomies du Barrémien (n4) à 560 Ω .m, d'une puissance de 200 m.

Au centre, les calcaires dolomitiques du Jurassique épais de 550 m, reposent sur l'Aptien épais ici de 230 m environ.

Au sud du djebel Youssef, les formations crétacées sub-affleurantes sont représentées par les étages suivants : Cénomanien-Turonien (C) à 100 Ω .m, épais de 100 m, Albien-Vraconien (vn) à 15 Ω .m épais de 120 m, Aptien calcaire (n5) à 50 Ω .m, épais de 130 m.

– Coupes X (fig. 4)

La coupe X montre l'importance des formations salifères cantonnées sur une bande E-O très étroite mais qui s'étale du nord au sud sur une vingtaine de kilomètres, depuis El Hachichia (SE X-7) jusqu'à Aïn Oulmène (SE X-30). Au nord de l'oued Guellal (SE X-17), cette couche extrêmement conductrice (2 à 5 Ω .m), que nous attribuons au Trias, repose sur un soubassement très résistant (2000 Ω .m), probablement crétacé. Les formations triasiques affleurent à sebkhet Melloul ainsi qu'au Nord de Aïn Oulmène, contaminant intensément oued El Malah.

L'origine intrusive du Trias est confirmée par les travaux de gravimétrie (Boudella, 1989) qui mettent en évidence une anomalie d'environ -30 mgal de direction nord-sud coïncidant avec la faille de Salah Bey – Aïn Oulmène.

La coupe X révèle également l'importance des dépôts mio-pliocènes marneux, épais de 500 m entre les SE X-3 et X-5.

– Coupes XII (fig. 4)

La coupe XII, montre l'existence de séries crétacées chevauchantes qui se relaient depuis oued El Malah (SE XII-7) jusqu'aux abords du

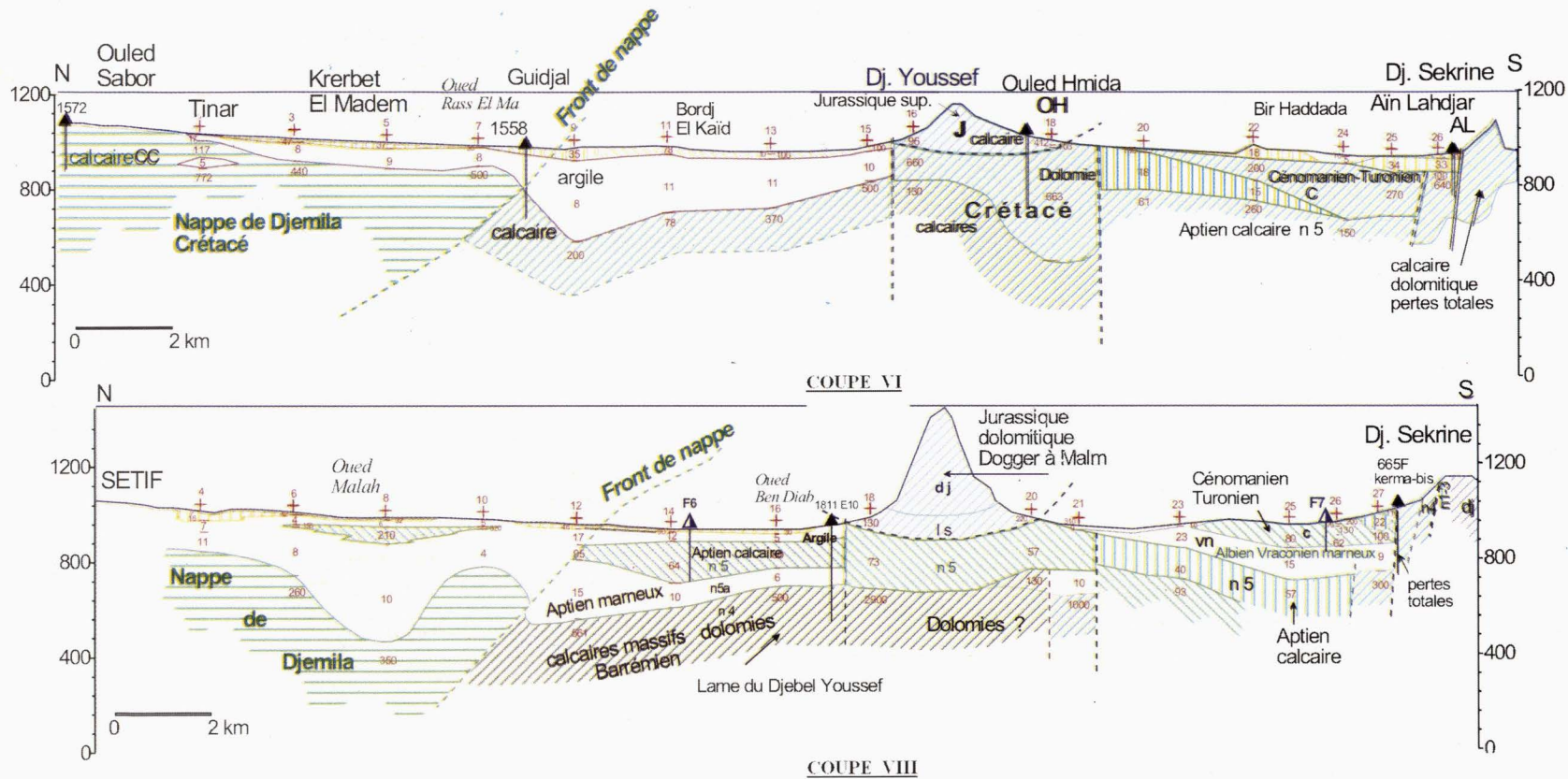


Fig. 3 – Coupes géoelectriques interprétatives VI et VIII
Geoelectrical cross-sections VI and VIII

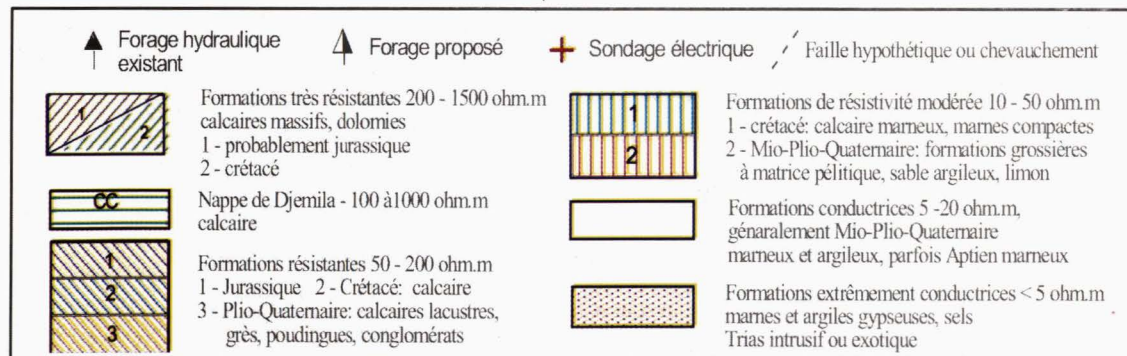
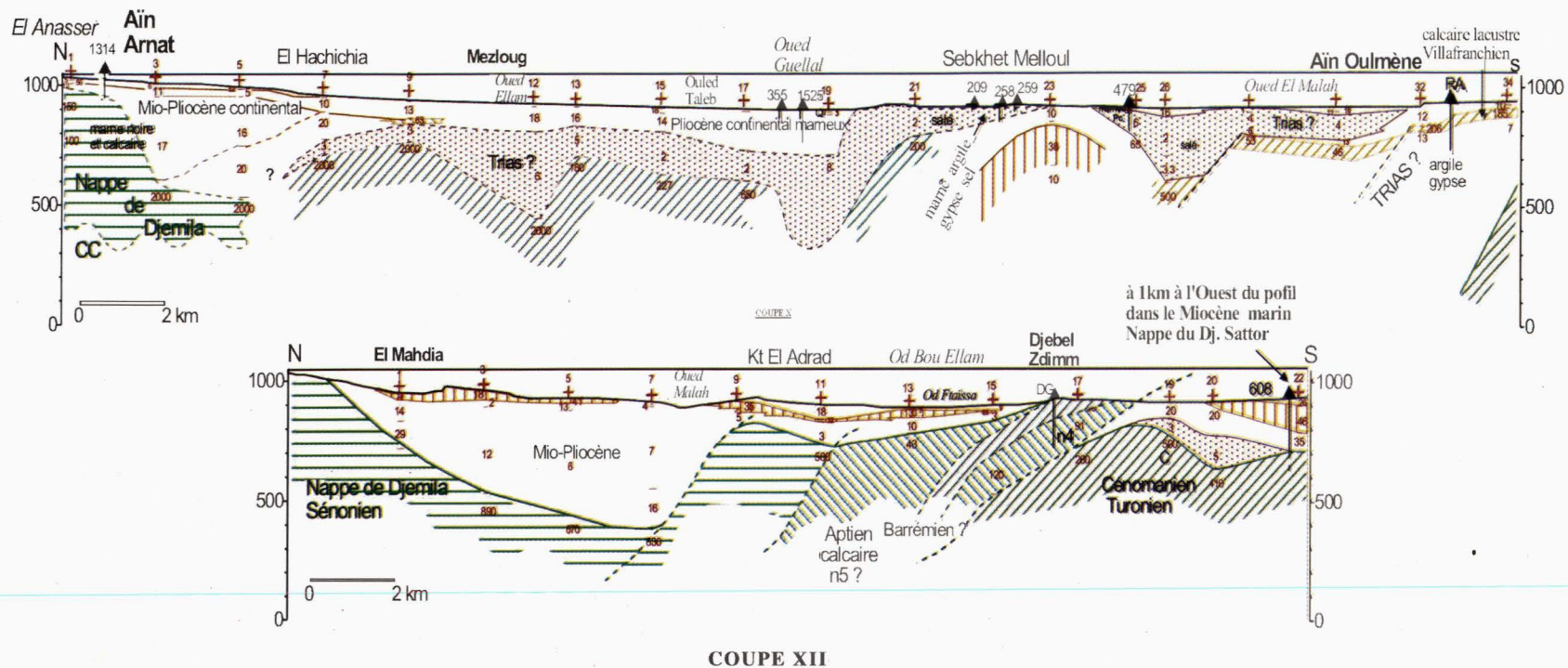


Fig. 4 – Coupes géoelectriques interprétatives X et XII
Geoelectrical cross-sections X and XII

djebel Sattor au sud. Ce sont, du nord au sud :

- la nappe de Djémila dont le front coïncide en surface avec la Koudiat El Adrad (SE XII-9),
- l'ensemble allochtone sud-sétifien composé ici de plusieurs lames et écaillés datées Aptien (n5), Barrémien (n4) puis Cénomani (C),
- enfin, au sud, la nappe tellienne du djebel Sattor qui comprend dans sa partie supérieure des marnes d'une épaisseur de 100 m représentant le Miocène marin. La coupe indique en outre, dans sa partie septentrionale, un épais remplissage alluvionnaire de nature pélique.

- *carte de la résistivité apparente
en AB = 200 m. (fig. 5).*

La carte montre des zones très conductrices :

- La première zone est située dans la partie orientale de la région, entre les profils X et XI. Elle présente une forme allongée selon une direction nord-sud et se trouve centrée sur l'affleurement triasique de Guellal (à proximité de la Sebkhet Melloul) où elle présente ses valeurs les plus basses ($< 5 \Omega.m$). Elle s'enfonce par ailleurs vers le sud jusqu'aux abords de Aïn Oulmène (Colbert), et se prolonge vers le nord jusqu'aux abords de Mezcloug où elle semble s'atténuer. Sa forme nord-sud allongée, maintenue à différentes profondeurs d'investigation, indiquerait la présence d'une faille subméri-dienne qui aurait favorisé la remontée du Trias de Guellal.
- Une seconde zone conductrice, que délimite la courbe à $10 \Omega.m$, se dessine à l'extrémité nord-orientale de la région, depuis El Eulma au nord jusqu'à la Sebkhet El Bazer au sud.
- Au nord-ouest de Mezcloug, des valeurs modérées ($< 15 \Omega.m$) plaideraient pour la présence d'un remplissage plio-quaternaire pélique.

- *Carte de la résistance transversale
(fig. 6).*

La résistance transversale déterminée ici se rapporte à tous les terrains situés au-dessus du niveau résistant inférieur. Ces formations sont donc susceptibles d'être exploitées par des forages de profondeur économiquement tolérable. La carte ainsi combinée montre 5 plages résistantes, caractérisées par des valeurs variant souvent de 5000 à 25 000 $\Omega.m^2$ à l'exception de la plage située à l'extrémité nord-occidentale du djebel Youssef qui accuse la valeur exceptionnelle de 40 000 $\Omega.m^2$ à l'aplomb du SE IX-26. Si dans l'ensemble les plages résistantes correspondent aux zones profondes, on pourra par contre noter, au nord de la Sebkhet Melloul, des valeurs modérées induites par la présence de marnes salifères du Trias.

IV - CONCLUSION

L'étude a permis de préciser la structure d'ensemble des formations géologiques présentes :

- *Le Mio-Plio-Quaternaire* se présente sous la forme d'un ensemble peu tectonisé de nature essentiellement continentale.
- *La nappe de Djémila (Dômes sétifiens)* forme un ensemble d'anticlinaux à grand rayon de courbure. Il s'agit en fait de "structures installées à la faveur d'une épaisse série calcaire encadrée par deux niveaux marneux" (Vila, 1980). *La nappe du djebel Sattor* présente le même style structural que la nappe de Djémila.
- *L'ensemble allochtone sétifien* se définit comme un ensemble d'écaillés en relais. On y distingue du nord au sud et de haut en bas :
 - *L'ensemble chevauchant Zdim-Youssef*
 - *Braou* qui possède une série surtout carbonatée appartenant à l'intervalle Lias-Cénomani. Cet ensemble affecte la disposition d'un anticlinal cisailé au djebel Youssef,

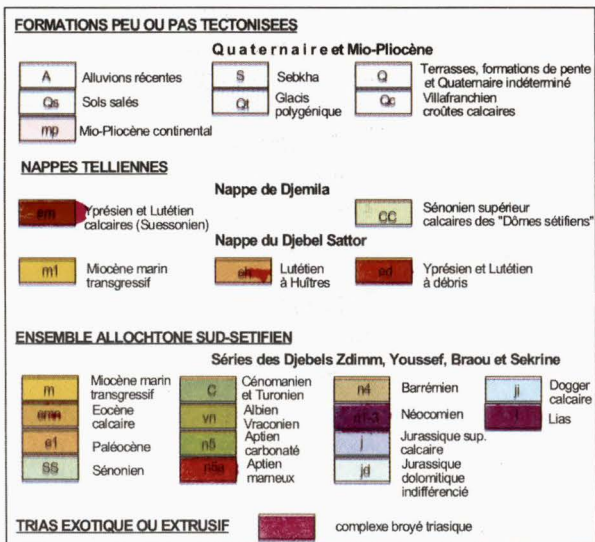
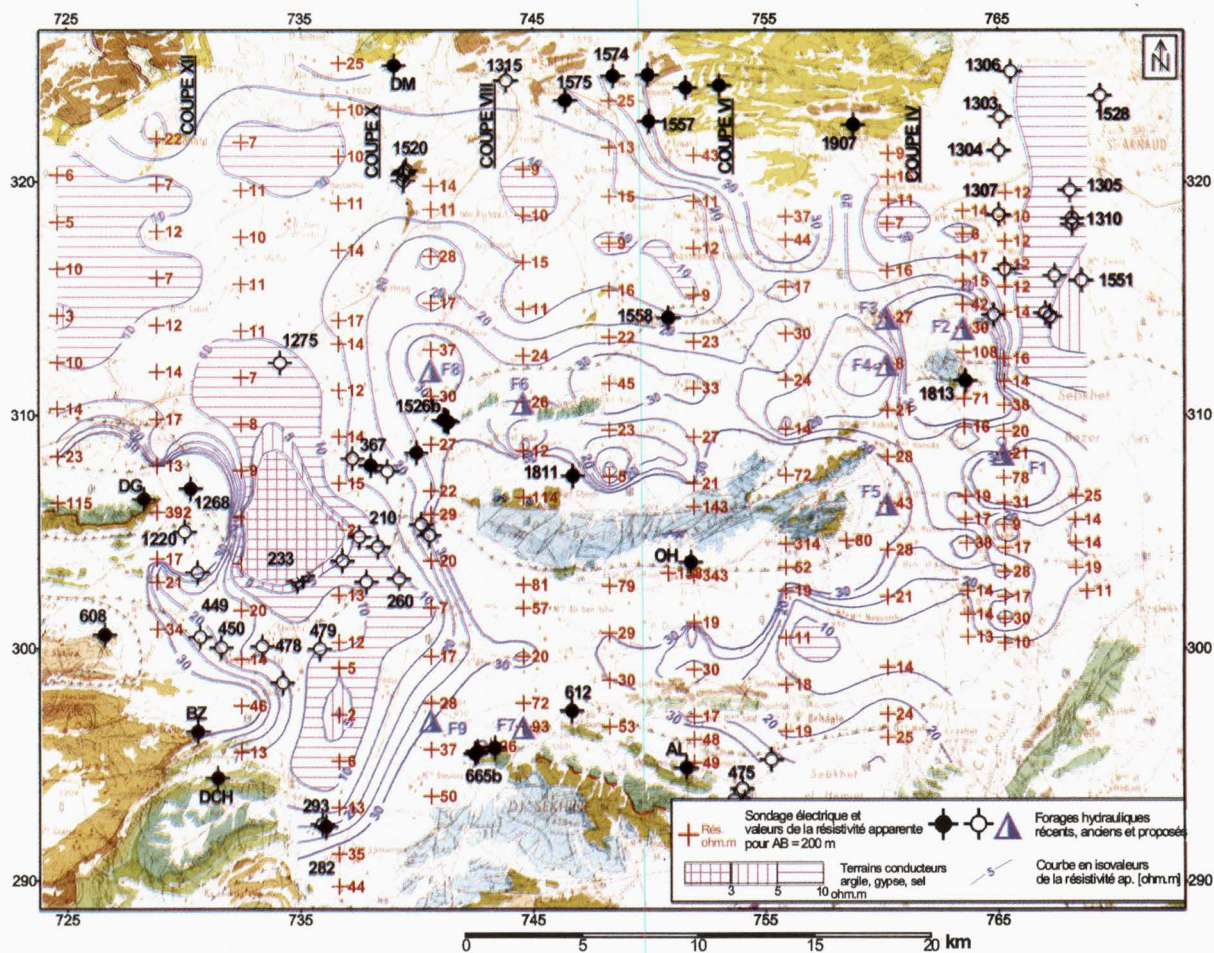


Fig. 5 – Carte de la résistivité apparente en AB = 200 m

Apparent resistivity map with AB = 200 m

REGARD SUR LES PERSPECTIVES HYDROGÉOLOGIQUES PROFONDES DES HAUTES PLAINES SETIFIENNES À TRAVERS LA PROSPECTION ÉLECTRIQUE

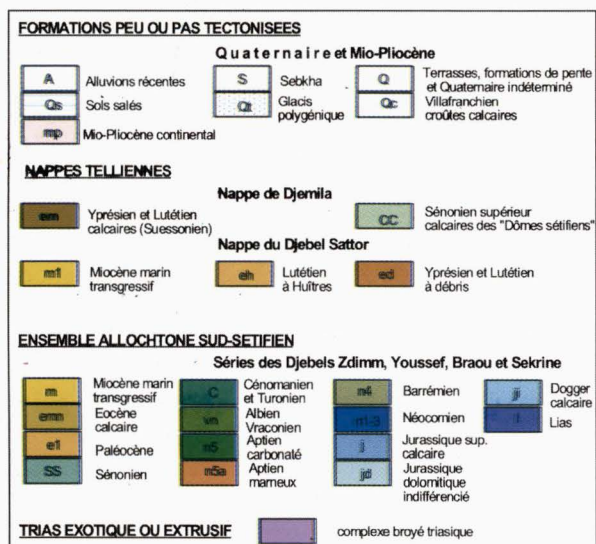
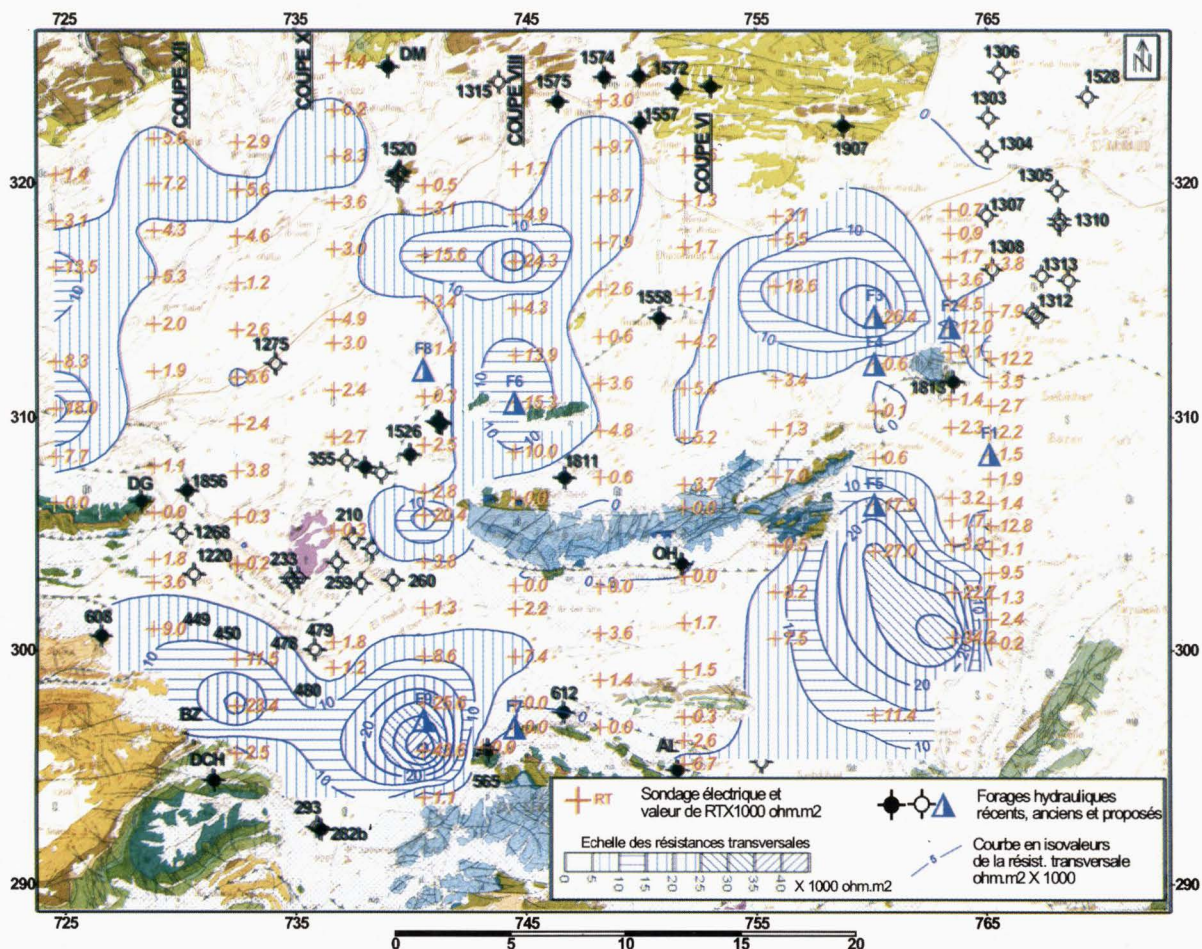


Fig. 6 – Carte de la Résistance Transversale
Tranverse resistance map

- *L'écaïlle du djebel Youssef* qui présente un style analogues, - *L'écaïlle des djebels Sékrine, Kalaoun et de la Koudiat Tella.*

- *L'autochtone hodnéen* qui se compose de structures plissées lourdes, limite au sud les plaines.

Dans ce cadre géologue très complexe, composé essentiellement d'édifices structuraux charriés, la géophysique a pu identifier des ensembles résistants, relativement continus, et qui peuvent constituer autant d'aquifères exploitables. Ces aquifères ont été schématisés à l'aide de cartes et coupes géoelectriques dont l'exploitation devrait guider la reconnaissance mécanique. Celle-ci doit se faire sur la base de critères hydrogéologiques (débit appréciable) et économiques (profondeur acceptable, eau potable). A cet égard l'étude de la résistance transversale (fig. 6) a permis d'identifier les sites les plus productifs en vertu d'une certaine corrélation entre perméabilités, porosités efficaces et résistivités (Toubal, 2002). On rappellera également le risque de contamination des eaux souterraines par les formations salifères dans les secteurs circonscrits aux plages conductrices (fig. 5), celles-ci devant alors être proscrites de toute exploitation. Ces derniers arguments justifient à notre sens les points d'implantation proposés figure 1.

Par ailleurs, les réservoirs prospectés doivent bénéficier d'une alimentation soutenue. A cet effet, il est bon de rappeler que la région fait partie d'un vaste système aquifère hétérogène, alimenté par des masses carbonatées fissurées limitrophes, représentées par les Monts du Hodna, de Constantine et des Aurès. Mais à l'intérieur même du domaine prospecté, les lames carbonatées fissurées de l'ensemble allochtone sud-Sétifien, peuvent constituer autant de zones d'infiltration privilégiées. Ce même ensemble, peut, à profondeur modérée, constituer un aquifère économiquement exploitable. Cet

ensemble devra donc faire l'objet d'une reconnaissance par forages.

Enfin, la nappe de Djémila située au nord, ainsi que les structures autochtones lourdes situées à la limite sud-ouest de la région, devront également faire l'objet d'une reconnaissance par forages.

BIBLIOGRAPHIE

- BOUDELLA, A., 1989. Etude gravimétrique sur les hautes plaines sétifiennes. *Thèse de doct. 3^{ème} cycle- USTHB*, 250 p.
- BOUDJEMAA, A., CONNARD, R., KAZI-TANI, N. ET REYMOND, R., 1972. Etude géologique des Dômes sétifiens. *Rapport SONATRACH-BEICIP*, 50 p. 5 pl.
- CRUYS, H. ET MARKS, P., 1953. Carte géologique détaillée au 1/50 000 de l'Algérie. Feuille n° 142 de Tocqueville. *Publ. du Serv. Carte géol. Algérie*, Alger.
- GHAZLI, R. ET SEMANI, N., 1997. Synthèse des travaux géologiques et géophysiques du périmètre de Sétif. *Rapport SONATRACH*, GL 4213/2, 30 p.
- GUIRAUD, R., 1990. Evolution post-triasique de l'avant-pays de la chaîne alpine en Algérie. *Mémoires de l'ONIG* N° 185. 257 p. 115 fig., 12 pl. h-t
- MIKHAILOV, V., 1978. Rapport de fin de travaux de forage de reconnaissance sur les hautes plaines sétifiennes. *Rapport ANRH* n° 78 HYG 122, 20 p., 3 fig.
- MIKHAILOV, V., 1979. Forages de reconnaissance sur les hautes plaines sétifiennes. *Rapport ANRH* N° 79 SHYG 42, 25 p., 10 fig.
- OKHAPKINE, V. ET LOUKIANOV, L., 1978. Rapport sur les travaux hydrogéologiques réalisés en 1978-1979 dans la région de la saline de Guellal. *Rapport SONAREM*.

REGARD SUR LES PERSPECTIVES HYDROGÉOLOGIQUES PROFONDES DES HAUTES PLAINES SETIFIENNES À TRAVERS LA
PROSPECTION ÉLECTRIQUE

- TOUBAL, A. C., 2000.** Etude par prospection électrique sur les Hautes Plaines Sétifiennes. *A.N.R.H./Ministère des Ressources en Eau*, 9 fig. 16 pl., 27 p., juillet 2000.
- TOUBAL, A. C., 2002.** Implications de la géophysique dans l'identification hydrodynamique des réservoirs aquifères. Colloque National de Géologie de Gisements – *Faculté des Hydrocarbures et de la Chimie – Bourmerdes*, 20-21 janvier 2002, com. 1p.
- TOUBAL, A. C., 2003.** Potentialités aquifères dans un contexte géologique allochtone sous climat aride à travers la prospection électrique: exemple des hautes plaines sétifiennes. Colloque International Oasis Eau et Population. Biskra le 22, 23 et 24 septembre 2003. Com. 1p.
- VILA, J. M., 1980.** Cartes géologiques relatives au permis Sétif- Coupures au 1/50 000ème de El Eulma n°94, Sétif n°95, Mezloug n°117, Bir El Ahrech n° 118, Aïn Azel n° 143.