



# Utilización de sondeos eléctricos para el diagnóstico del potencial hídrico de la región de Tizeght (anti-atlas marroquí)

Saad Bakkali

*Departement des Sciences de la Terre*

*Faculte des Sciences and Techniques de Tanger, Universite Abdelmalek Essaadi, Tanger, Maroc.*

*E-mail: saad.bakkali@menara.ma*

(recibido: mayo de 2005; aceptado: noviembre de 2005)

## Resumen

La mejora del acceso al agua en las zonas aisladas y enclavadas, es una prioridad que por sí sola justifica la intervención de las asociaciones de desarrollo local y regional en los ámbitos sociomedioambientales. En este marco, a petición de la asociación Anssis para el desarrollo de la región de Tizeght, se efectuó un estudio geofísico por métodos eléctricos (sondeos eléctricos verticales SEV de geometría Schlumberger) en la provincia de Tafraoute, concretamente sobre el sitio del pueblo de Anergui en la región de Tizeght. El estudio geofísico consistió en una prospección eléctrica por corriente continua. Se realizaron 5 SEV. El medidor de la resistividad eléctrica es el GTR-2 a compensación automática de la polarización espontánea de Geotrade Instrumentos. El tratamiento de los datos de resistividad se realizó con el programa informático WinSev 3.3 de Geosoft. Este estudio está previsto para contribuir a la mejora del conocimiento del potencial hídrico de la zona de estudio. Se prevé también estudiar la localización de las fuentes y llegadas de agua. Se proponen los esquemas de la evolución longitudinal y transversal del acuífero.

**Descriptores:** Resistividad, geofísica, agua, Tizeght, Marruecos.

## Abstract

*The improvement of the access to water in the isolated and wedged zones, is a priority which only justifies the intervention of associations of local and regional development in the socio-environmental fields. Within this precise framework, at the request of Anssis Association for the development of the area of Tizeght, a geophysical study by electric methods electric (Surveys Schlumberger) was carried out in the province of Tafraoute, more precisely on the site of the village of Anergui in the area of Tizeght. The geophysical study consisted of an electric prospection by D.C. current. 5 vertical electric surveys were carried out. The measuring apparatus of the resistivity is GTR-2 with summation of signals and automatic offsetting of the spontaneous polarization of Geotrade Instruments. The data processing was carried out using the software WinSev 3.3 of Geosoft. It is envisaged by this study to contribute to the improvement of the knowledge of the hydrological potential of the zone of study. It is also planned to study the localization of the sources and the located makes of water. The diagrams of the longitudinal and transverse evolution of the aquifer are proposed.*

**Keywords:** Resistivity, geophysics, water, Tizeght, Morocco.

## Introducción

En Marruecos, las zonas remotas tienen tendencia a despoblarse poco a poco a consecuencia de un

desinterés por parte de los servicios públicos (a menudo por falta de medios); sin embargo, las asociaciones locales de desarrollo social constatan que la mejora en las infraestructuras básicas,

de estos pueblos puede frenar el éxodo rural, aunque el atractivo de la ciudad en términos de trabajo y oportunidad de éxito sigue siendo demasiado potente. Una de las opciones primordiales de la mejora en las infraestructuras básicas, permanece indiscutiblemente en el acceso al agua potable. Este acceso parece indispensable en términos de higiene, donde la investigación y la adaptación de fuentes, de bocas de riego y la construcción de los tanques de almacenamiento limitan los riesgos de enfermedades vinculadas con el agua. En este marco, la asociación Anssis para el desarrollo de la región de Tizeght (provincia de Tafraoute con 1200 m de altitud) (Figura 1), pidió un estudio en el marco de los programas de máximo aprovechamiento de las potencialidades de los recursos hidráulicos subterráneos, fomentados por las autoridades públicas, con el fin de amortiguar los efectos aleatorios de la sequía. Este estudio también es un indicador de las distintas formas de expresión del desarrollo sostenible a escala local, desplegado por los medios asociativos.

La region de Tizeght se sitúa en medio de un macizo de granito rosado que sufrió un fenómeno de desagregación. Se rodea con palmares, olivares, con huertas de almendros, y está dominada por el Djebel Lekst (2359 m de altitud) (Figura 2). Según las características geológicas e hidrogeológicas,

las formaciones que constituyen principalmente el Djebel Lekst no constituyen acuíferos; el agua que puede encontrarse se localiza esencialmente en tubos de desagüe principales, que son generalmente fracturas o fallas. Está previsto detectar estas fallas, así como estudiar la posible extensión de éstas en profundidad.

### Objetivo

De acuerdo con la petición de la asociación Anssis, este estudio tuvo como objetivo la evaluación del potencial hídrico de la región de Tizeght. Esta zona se presenta en forma de un valle orientado según la dirección Este-Oeste, situado al Sur de Djebel Lekst, cuyo punto de partida es el pueblo de Anergui. Esta zona constituye la parte fundamental de la cuenca que está completamente cerrada al Este y que presenta una apertura hacia el Oeste. El estudio geofísico tiene como propósito el análisis de los acuíferos, de las fuentes y llegadas de agua localizadas en profundidad; tales fuentes de agua son primordiales para el conjunto de las comunidades campesinas de la región.

En este contexto, teniendo en cuenta la geomorfología del vallejo, se ha decidido proceder por sondeos eléctricos verticales SEV de geometría Schlumberger (Chouteau, 2001).



Figura 1. Mapa geográfico de situación de Tafraoute

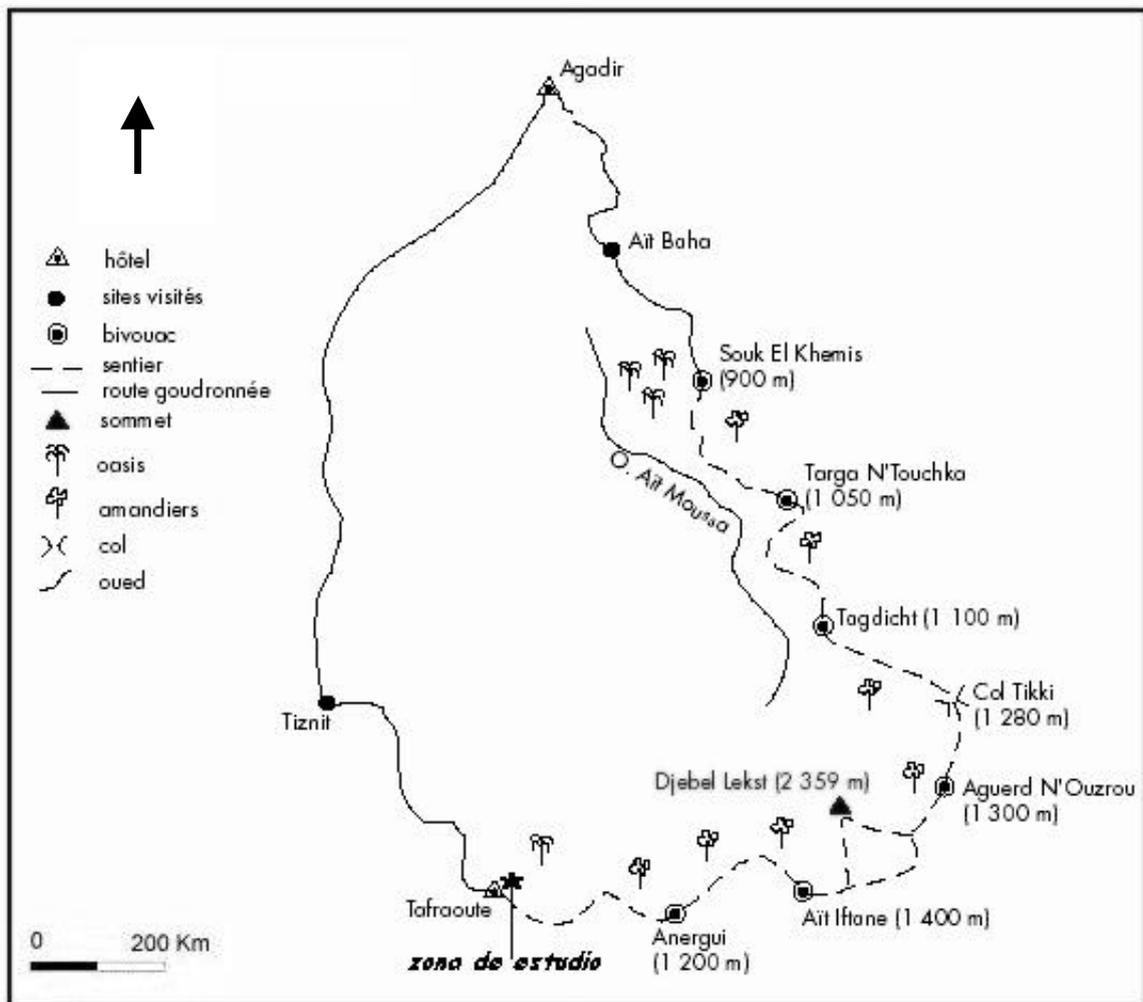


Figura 2. Mapa de situación de la región de estudio

### Contexto geográfico, geológico e hidrogeológico

Situada en la zona del Sur marroquí, la región de Tizeght no había sido objeto de ningún estudio destinado a la evaluación de sus potencialidades hidrogeológicas. El reconocimiento de las formaciones susceptibles de responder a las necesidades de agua potable de los municipios rurales de esta región, tiene un interés primordial con el fin de optimizar los recursos hidráulicos del conjunto de la misma. Desde este punto de vista, se llevó una campaña de exploración geofísica sumando 5 sondeos eléctricos verticales (SEV) de geometría Schlumberger. El presente artículo expone los principales resultados tanto a nivel cuantitativo como cualitativo.

La zona estudiada pertenece geográficamente al macizo del Anti-Atlas marroquí y especialmente al del Kerdous. Se inscribe en la zona axial del Anti-Atlas, parte montañosa, constituyendo una zona de dispersión de los resplandores de aguas. Las precipitaciones son muy irregulares. Las lluvias medias son aproximadamente de 200 mm/año. Las contribuciones medias de aguas al año son aproximadamente 800.106 m<sup>3</sup>. Las aguas subterráneas constituyen los únicos recursos hidráulicos permanentes de la zona axial.

El macizo del Kerdous es de edad precámbrico, está constituido por terrenos de carácter esquistoso que contienen esquistos y cuarcitas, así como otros de carácter magmático, conteniendo basaltos y granitos (Choubert, 1963) (Figura 3).

Las reservas acuíferas están constituidas esencialmente por una parte de granitos y migmatitas, y por otra, de cuarcitas y esquistos. Las cuarcitas forman la parte fundamental del Djebel Lekst, cuyo lado meridional constituye el lugar geográfico del

pueblo de Anergui; si se fracturan estas cuarcitas constituyen una serie a fuerte potencia (+ 1000m en el Djebel Lekst) y poseen una permeabilidad de grietas. También, constituyen la principal reserva de agua subterránea.

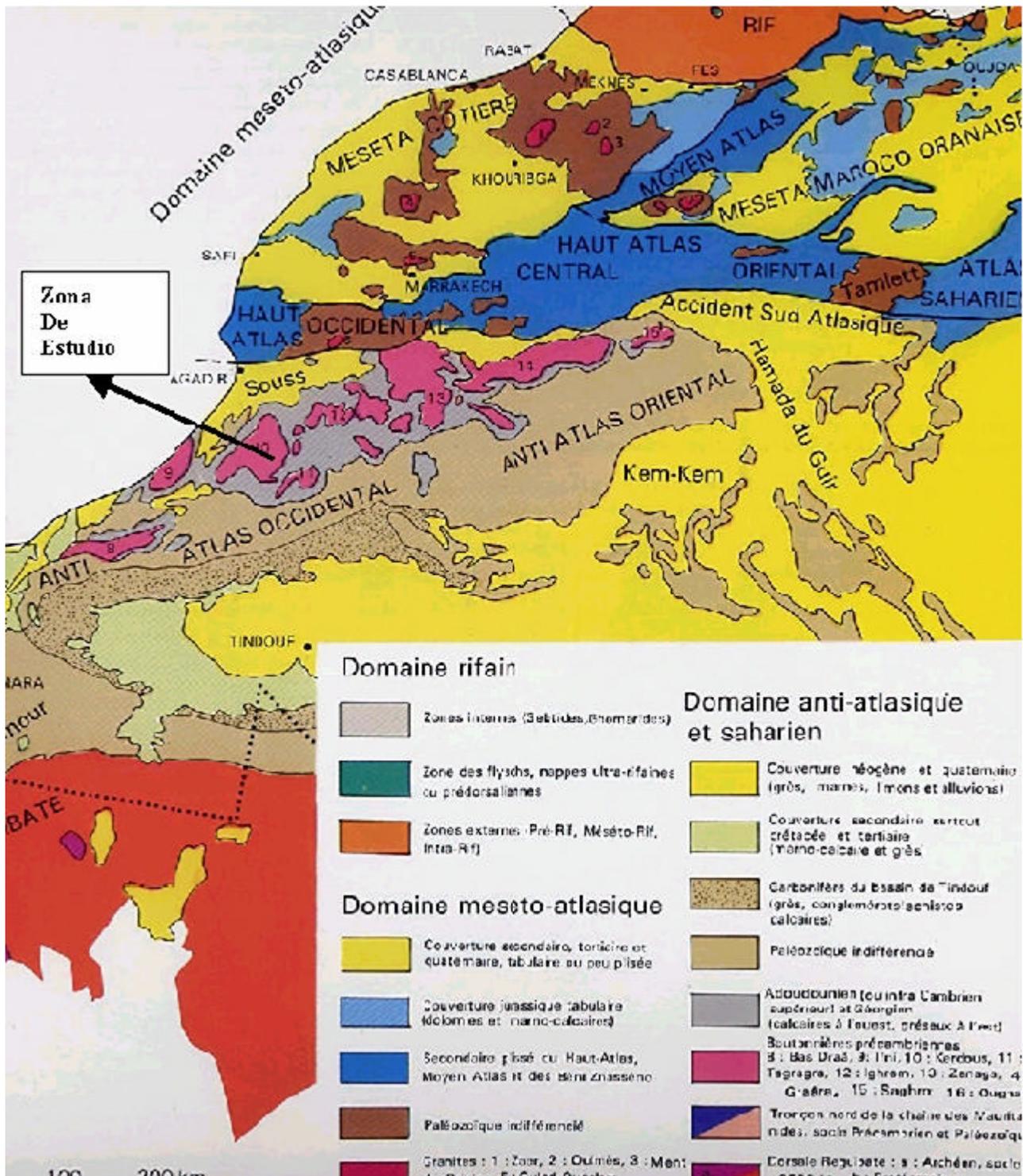


Figura 3. Principales características geológicas de Marruecos

Las poblaciones rurales consumen agua de los pozos en las zonas donde existe generalmente el agua de las acequias de riego procedente de las fuentes, de los ueds. Sólo las pequeñas aglomeraciones poseen aducciones, y en este caso, importantes problemas se plantean siempre para movilizar los recursos hidráulicos necesarios. La búsqueda de agua se orienta pues, hacia las zonas donde las cuarcitas presentan una mejor fracturación y fisura, hacia las zonas de gran grosor de aluviones que pueden formar los tanques, y finalmente, hacia las fallas jalonadas o no de filones de basaltos que pueden constituir canalizaciones preferenciales de las aguas (Bakkali *et al.*, 2004).

### Método

El principio general de la prospección eléctrica por sondeos eléctricos verticales SEV se basa en la inyección de una corriente eléctrica  $I$  entre dos electrodos A y B, y la medida de una diferencia de potencial  $\Delta V$  entre otros dos electrodos M y N (dichas de potencial). Se deduce la resistividad eléctrica aparente  $\rho_{app} = K (\Delta V / I)$  en Ohm.m; K es el coeficiente geométrico del dispositivo, función solamente de las distancias entre electrodos (Chouteau, 2001).

El sondeo eléctrico vertical SEV de geometría Schlumberger utilizado en este trabajo, requiere que los electrodos estén alineados y simétricos con  $MN \ll AB$  (Figura 4).

La interpretación cuantitativa consiste en primer lugar, en la interpretación de los diagramas

$\rho_{app} = f(AB/2)$  de los sondeos eléctricos verticales, determinando las resistividades reales de las capas para deducir sus naturalezas geológicas (Tabbagh, 1995) y (Gasmi, 2004).

### Datos

Para caracterizar la existencia del acuífero (determinación de la reserva, su capacidad, su profundidad y su forma geométrica) se realizaron 5 SEV de geometría Schlumberger, según dos direcciones en paralelo a la fuente de agua (el ued) de Este a Oeste (figura 5). Los sondeos TZ1, TZ2 y P15 deberían informar sobre la evolución longitudinal del acuífero. Perpendiculares al ued, del Norte al Sur, los sondeos realizados TZ3, P15 y TZ4 caracterizarán la evolución transversal del acuífero. Las medidas de resistividad aparente se adquirieron con el medidor de resistividad eléctrica GTR-2 (Jenny *et al.*, 1999). La siguiente tabla muestra las características de los SEV realizados.

### Resultados

Después de la introducción y el tratamiento de los datos, los resultados de los sondeos realizados se proyectan sobre un diagrama bilogarítmico de tipo resistividad, en función de la distancia  $AB/2$ . El tratamiento de los datos y la modelización, se realizaron con el programa informático WinSev 3.3 de Geosoft (Jenny *et al.*, 1999) (Bakkali *et al.*, 2005). La interpretación de los sondeos y la modelización se realizaron utilizando datos estratigráficos de la zona de estudio.

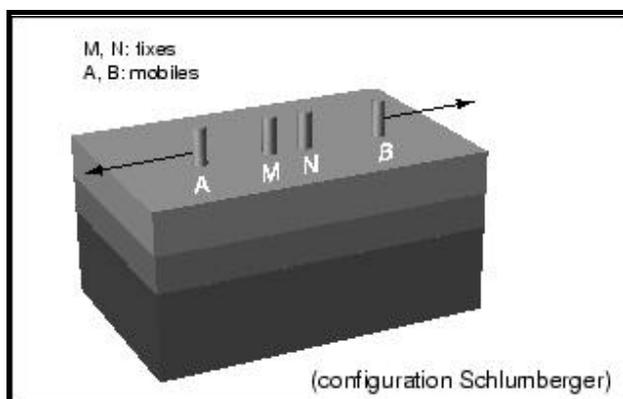


Figura 4. Principio, descripción y medidor de los sondeos eléctricos verticales SEV de geometría Schlumberger

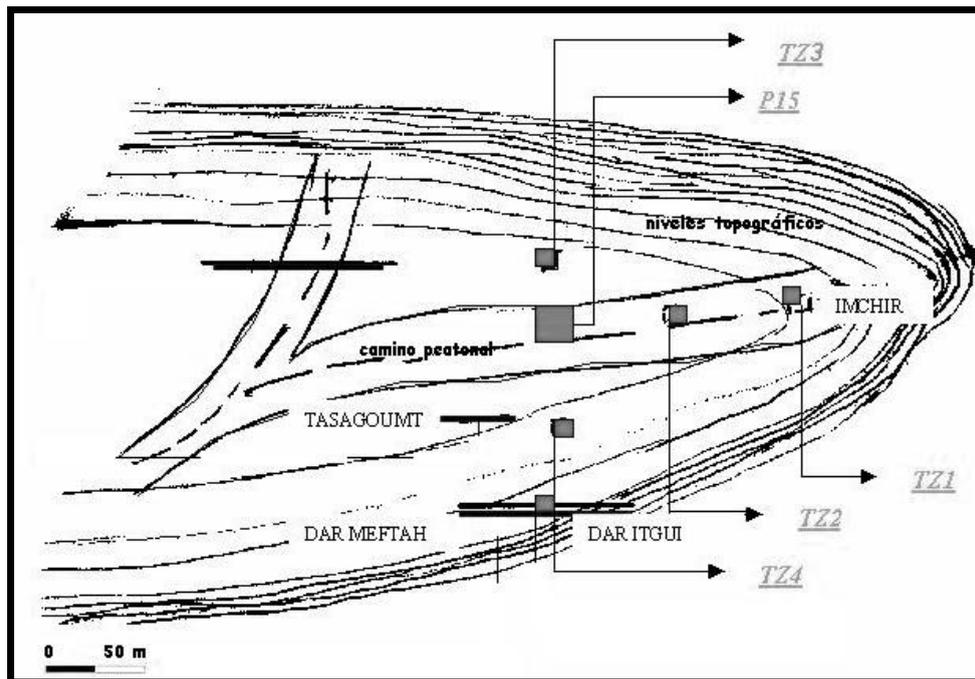


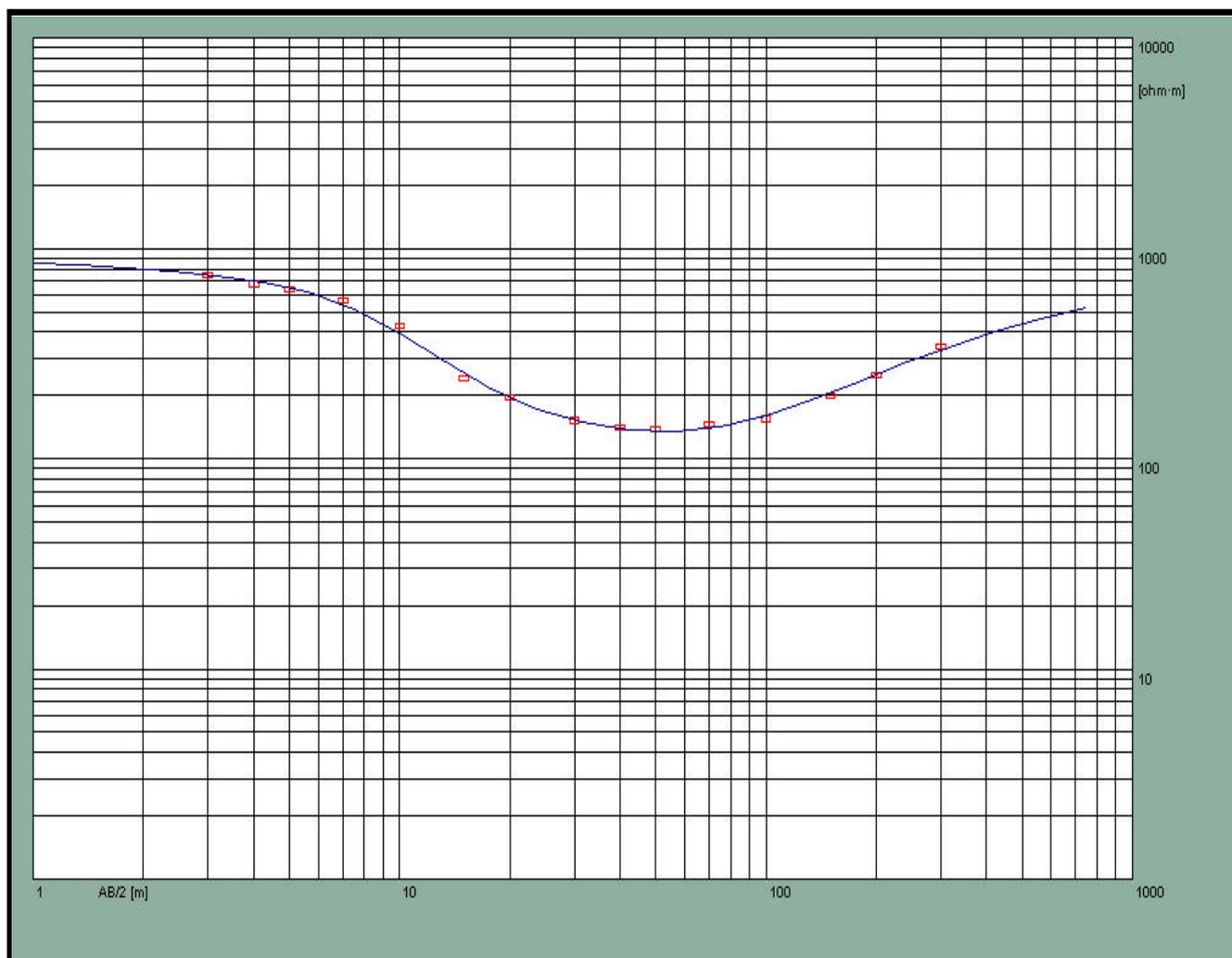
Figura 5. Mapa de situación de los SEV (TZ1, TZ2, TZ3, TZ4, P15)

SEV Schlumberger	Características
P15	Longitud de línea AB de 400m. Realizado cerca del pozo del pueblo de Anergui
TZ1	Longitud de línea AB de 200m Realizado cerca de la zona colectora de agua llamada AMCHIR
TZ2	Longitud de línea AB de 200m Realizado según el corte E-W entre los sondeos TZ1 y P15
TZ3	Longitud de línea AB de 200m Realizado sobre la orilla norte del ued cerca del pozo del pueblo
TZ4	Longitud de línea AB de 300m Realizado sobre la orilla meridional cerca del pozo del pueblo

Para este sondeo (Figura 6) los valores obtenidos dibujan una curva que muestra un modelo de los terrenos resistentes a los terrenos conductores, luego a los terrenos resistentes. El análisis y la interpretación de esta curva con duce a identificar seis capas caracterizadas por resistividades correspondientes a cinco formaciones geológicas de diferente carácter litológico. Entre 0 y 4,6m de profundidad, las dos primeras resistividades aparentes caracterizan la existencia de los aluviones secos. A partir de 4,6m de profundidad, los aluviones acuíferos se presentan según un grosor de 15m. Más allá de 19,6m de profundidad, los esquistos alterados forman también una parte del

acuífero y presentan una potencia de 14m. A unos 33,6m de profundidad, los esquistos fracturados forman también parte del acuífero y con relativa conductividad eléctrica se extienden sobre 43m de grosor para llegar finalmente hacia 76,6m de profundidad (esquistos sanos caracterizados por elevadas resistividades).

En definitiva, este sondeo permitió la definición de la importante reserva de agua subterránea que se encuentra en los aluviones acuíferos, los esquistos alterados y los esquistos fracturados, según un grosor acumulado de 72m exactamente (justo después de los cinco primeros metros a partir de la superficie).

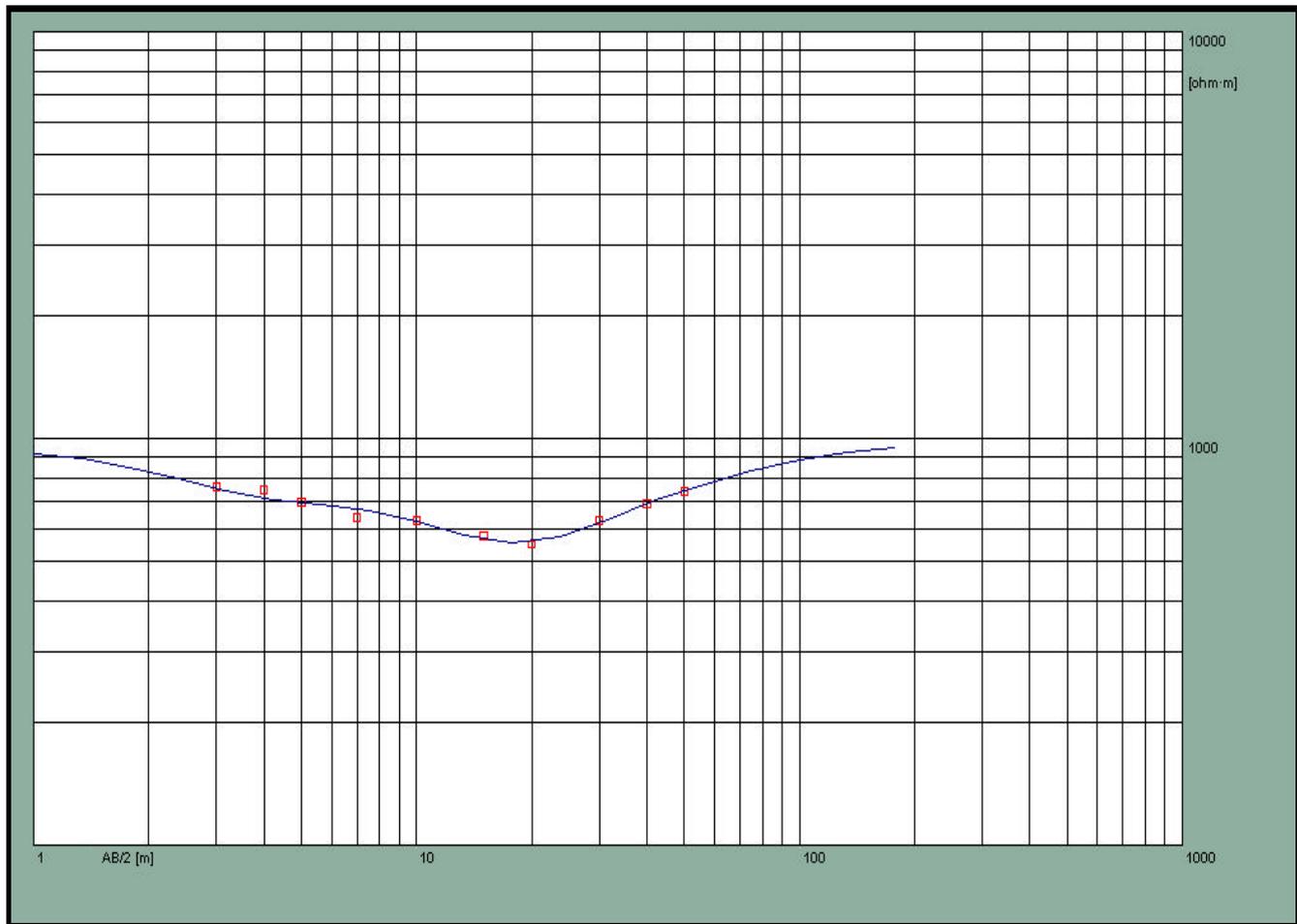


Capa No.	Resistividad (Ohm.m)	Grosor (m)	Profundidad (m)	Litología
1	860	1	0	Aluviones secos
2	727	3.6	1	Aluviones secos
3	156	15	4.6	Aluviones acuíferos
4	93	14	19.6	Esquistos alterados
5	130	43	33.6	Esquistos fracturados
6	750		76.6	Esquistos sanos

Figura 6. Perfil e interpretación del SEV P15

El análisis y la interpretación de este sondeo (Figura 7), realizado también en el centro del ued, muestra la existencia del único terreno con ductor (caídas húmedas) que forma un acuífero de 6 m de grosor después de los 4,5 primeros metros a

partir de la superficie. En este lugar se tienen en cuenta la ausencia de los esquistos y la aparición rápida de las cuarcitas, caracterizados por resistividades más elevadas desde 10,5 m de profundidad.

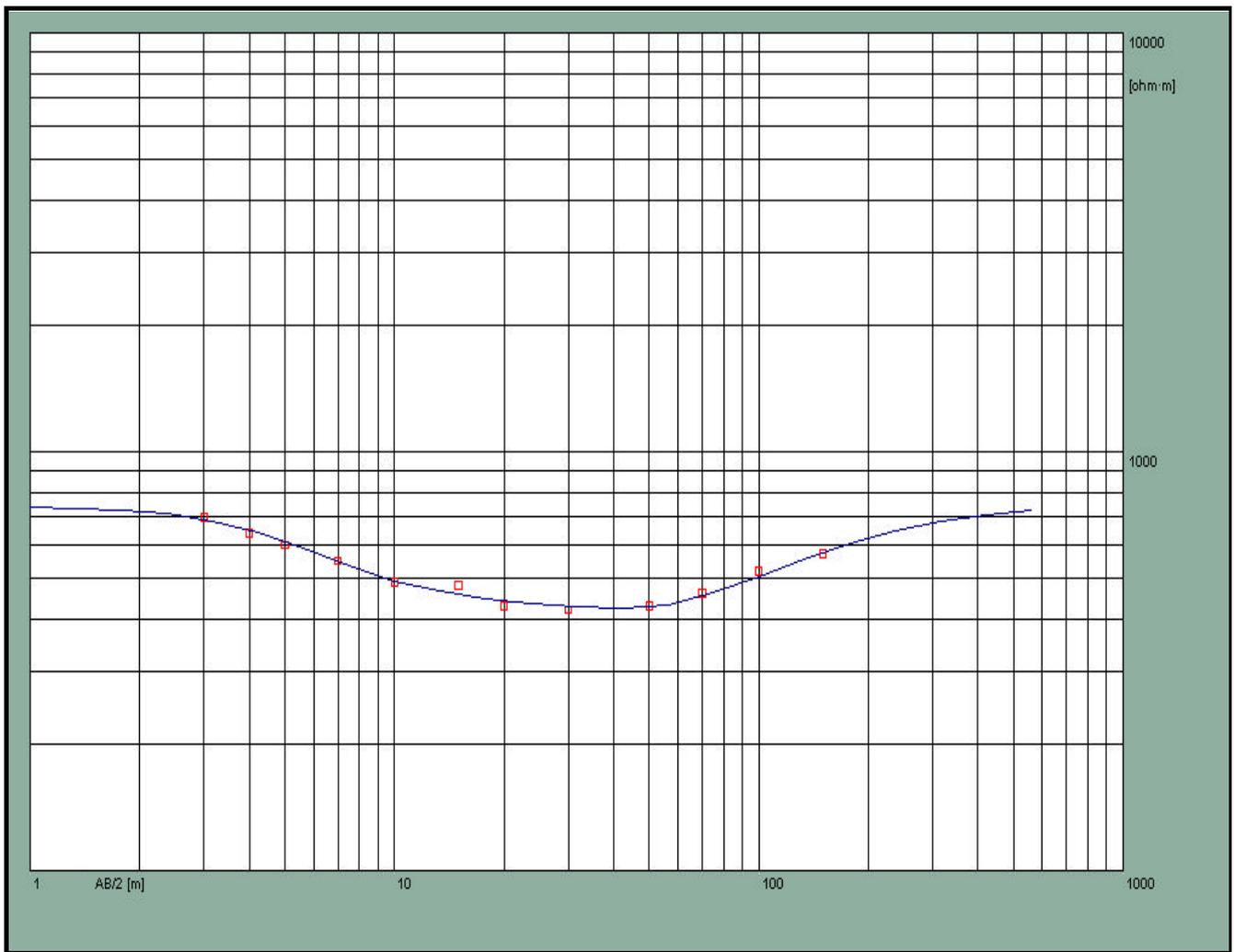


Capa No.	Resistividad (Ohm.m)	Grosor (m)	Profundidad (m)	Litología
1	950	1.2	0	
2	514	1.5	1.2	Caídas secas
3	1320	1.8	2.7	
4	285	6	4.5	Caídas húmedas
5	1000		10.5	Cuarcitas sanas

Figura 7. Perfil e interpretación del SEV TZ2

Los resultados y la interpretación de este sondeo (Figura 8) son similares a los del sondeo anterior, el grosor del acuífero representado por las caídas

húmedas, aumenta relativamente para alcanzar 10m de potencia a partir de 8,4m de la superficie.



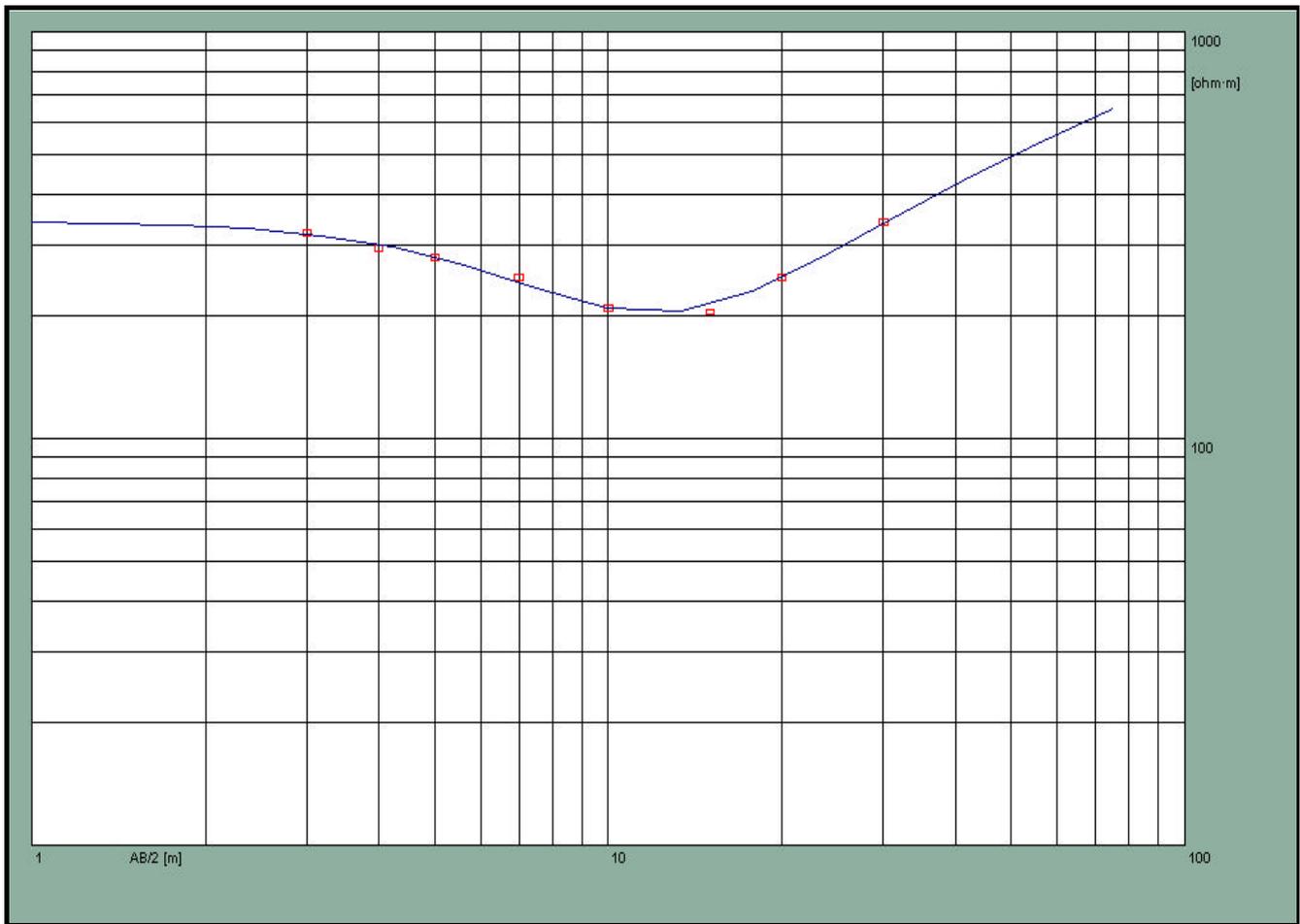
Capa No.	Resistividad (Ohm.m)	Grosor (m)	Profundidad (m)	Litología
1	720	2.4	0	
2	400	3	2.4	Caídas secas
3	860	3	5.4	
4	200	70	8.4	Caídas húmedas
5	800		18.8	Cuarcitas sanas

Figura 8. Perfil e interpretación del SEV TZ1

Utilización de sondeos eléctricos para el diagnóstico del potencial hidrico ...

El análisis y la interpretación de este sondeo (Figura 9) realizado sobre la orilla septentrional del ued cerca del SEV P15, muestra la existencia de un acuífero escaso (4m de grosor) que corresponde a

los esquistos y cuarcitas alterados, caracterizados por resistividades bajas. Los esquistos y las cuarcitas sanas aparecen muy pronto hacia la superficie.

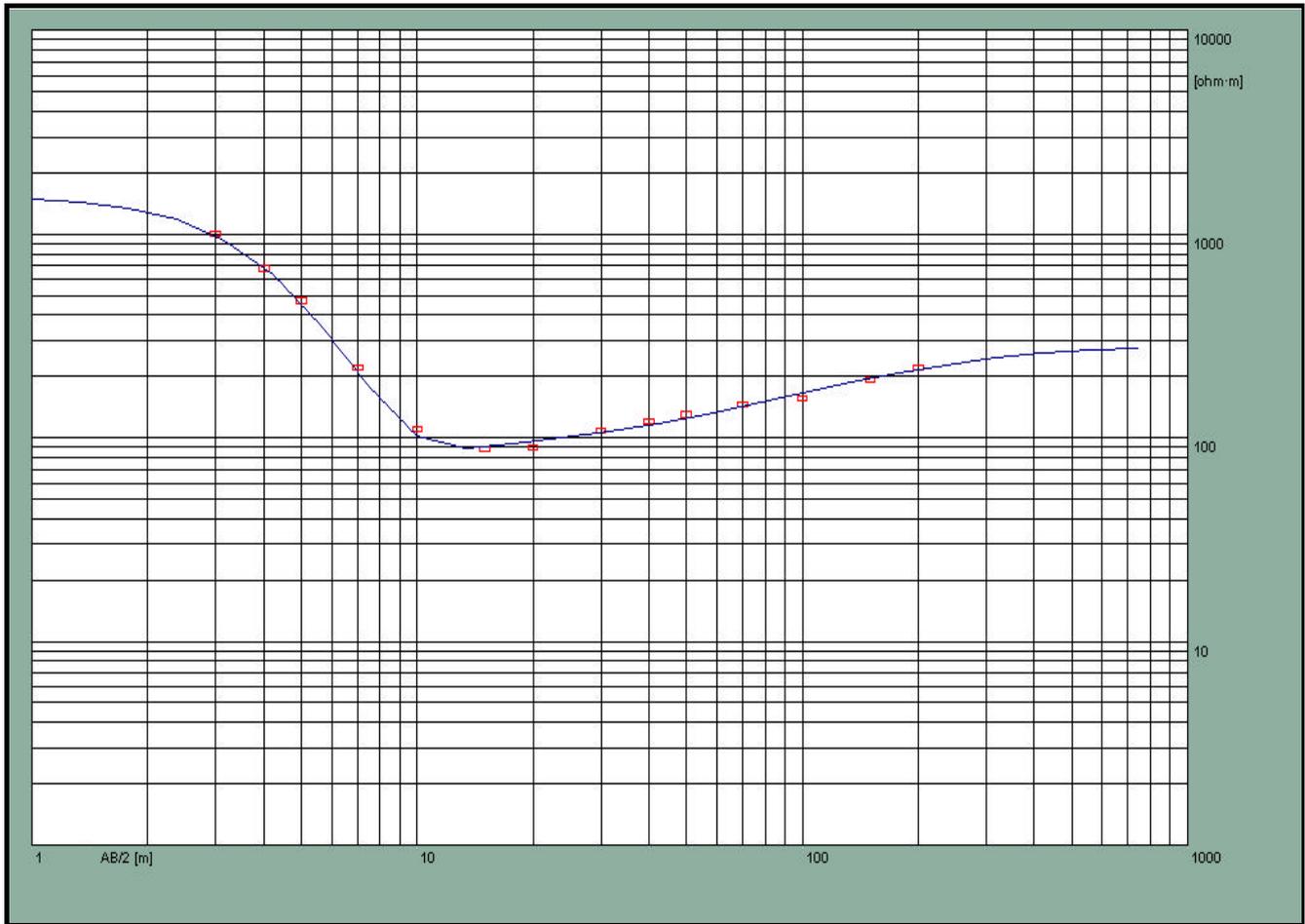


Capa No.	Resistividad (Ohm.m)	Grosor (m)	Profundidad (m)	Litología
1	310	2	0	Terraza aluvial
2	260	3	2	
3	83	4	5	Esquistos y cuarcitas alterados
4	1000		9	Esquistos y cuarcitos sanos

Figura 9. Perfil e interpretación del SEV TZ3

Los resultados y la interpretación de este sondeo (Figura 10) son similares a los obtenidos para el sondeo anterior, se sospecha la existencia de un

acuífero con una potencia que corresponde a los esquistos alterados y fracturados.



Capa No.	Resistividad (Ohm.m)	Grosor (m)	Profundidad (m)	Litología
1	1500	2	0	Terraza aluvial
2	60	5	2	Esquistos alterados y fracturados
3	112	37	7	Esquistos y cuarcitas sanos
4	350		44	

Figura 10. Perfil e interpretación del SEV TZ4

### Conclusiones

La disposición de los 3 sondeos P15, TZ2, TZ1, según una sección paralela al ued, y que pasa por su medio, muestra una evolución longitudinal del acuífero del Este hacia el Oeste. En efecto, el acuífero reducido (10m) hacia el Este, cerca de la zona dicha de Amchir, alcanza su máximo (72m) hacia el Oeste (Figura 11).

La disposición de los tres sondeos TZ3, P15, TZ4, según una sección perpendicular al ued, pone de manifiesto que el acuífero reducido (10m) sobre

la orilla Septentrional, se espesó en el centro (72m), para después reducirse relativamente hacia la orilla Meridional (37m) (Figura 12).

Estas variaciones espaciales del Norte hacia el Sur y de Este a Oeste, confieren a la cuenca acuífera una forma lenticular alargada en el sentido del vallejo de Tizeght. Este acuífero abierto hacia el Oeste es abastecido por una cuenca importante y cerrada al Norte, al Este y al Sur. La alimentación de las cuencas acuíferas está garantizada, tanto por las aguas de escorrentía como por fallas y fracturas que afectan a las cuarcitas y a los esquistos.

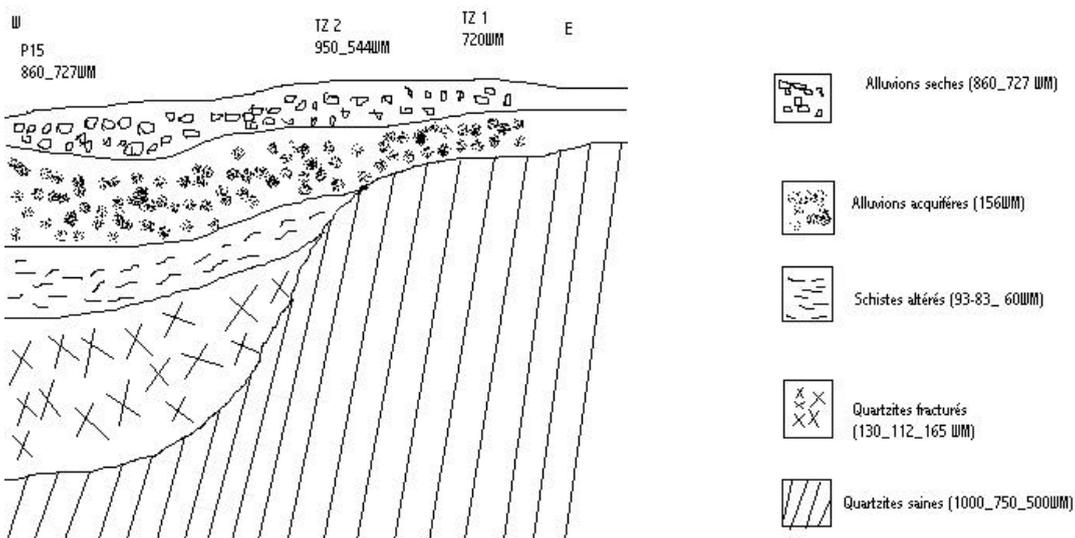


Figura 11. Esquema de la evolución longitudinal del acuífero

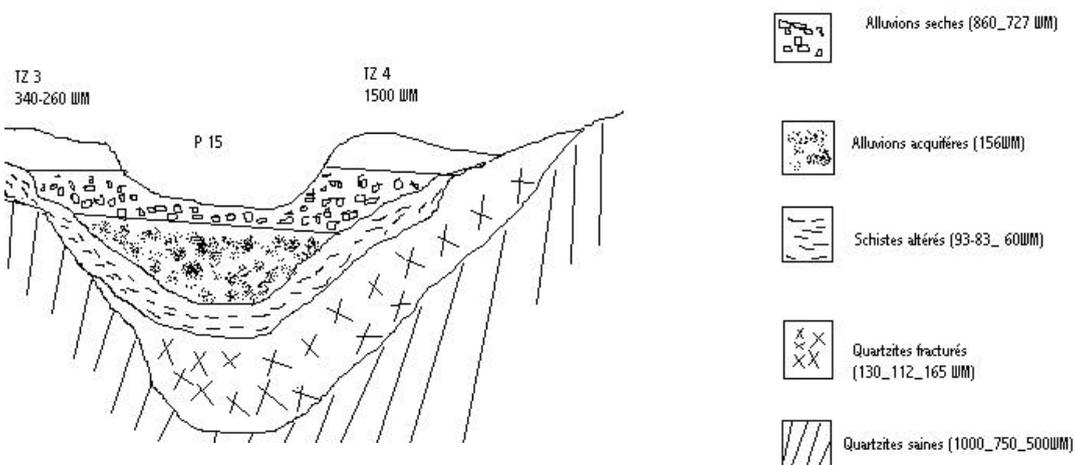


Figura 121. Esquema de la evolución transversal del acuífero

## Recomendación y orientación del estudio

Después de los resultados e interpretaciones obtenidos a partir de este estudio geofísico, se proponen las siguientes recomendaciones:

– La limpieza y el aumento de las fracturas orientadas N 110-120 en el pozo mismo del sistema de « kettarates ». Esa dirección privilegiada está considerada como una fuente importante de alimentación en esta zona.

– En la zona de Amchir, se descarta toda posibilidad de existencia de un acuífero importante. El aumento rápido de los esquistos y cuarcitas a este lugar sólo permite la aparición de un acuífero grueso de una decena de metros.

– En la fuente de Tasagoumt, se confirma que las dos fuentes que llegan a la cuenca artificial de agua, tienen un mismo y único origen. Este último se caracteriza en las fracturas orientadas N 110-120. Los trabajos que se prevén en esta zona deben contribuir a la limpieza y amplificación de las aperturas de las fracturas N-120 para intentar aumentar la producción de esta fuente.

– En el ued, el pozo ya establecido sobre 5m de profundidad resulta ser el punto más importante que se distingue de este estudio. En efecto, a este nivel la cuenca acuífera del área de Tizeght, formado esencialmente por los depósitos de relleno, los esquistos alterados y fracturados, alcanza un máximo de 75m de potencia. Por otro lado, cada gota de agua recogida en la cuenca y que transita por los colectores principales, llega y abastece la cuenca acuífera en esta zona. En caso de necesidad de recurso hidráulico, se recomienda vivamente aumentar la profundidad de este pozo, ya que se considera que la producción de agua en esta zona es muy importante.

## Agradecimientos

Agradecemos a la empresa B.E.G (Bureau Etudes Géophysiques) de Tánger, haber puesto a nuestra disposición su base de datos geofísicos en el marco del convenio de cooperación científico y técnico con la Facultad de las Ciencias y Técnicas

de Tánger. Asimismo, al Sr. Jaâfar Bouyalaoui del Departamento de las Ciencias de la Tierra de la Facultad de las Ciencias y Técnicas de Tánger, por su participación en la realización del presente estudio y por su colaboración en la interpretación geológica de los perfiles de sondeos eléctricos.

## Referencias

- Bakkali S. and Bouyalaoui J. (2005). Contribution de la Prospection Géoélectrique à la Connaissance des Ressources en Eau du Village d'Anergui (Tafraoute, anti-Atlas Marocain). *Revista e-Gnosis*, Vol.3.
- Bakkali S. and Bouyalaoui J. (2005). Essai d'Optimisation de la Capacité de Retenue d'eau d'un lac par Caractérisation du Recouvrement Argileux. *African Journal of Science and Technology (AJST), Science and Engineering Series*, Vol. 6, No. 2.
- Bakkali S. and Bouyalaoui J. (2004). Prospection Géophysique Appliquée à l'évaluation des Eaux Souterraines de Mediouna (Tanger, Maroc). *Journal des Sciences Pour l'Ingénieur, J.S.P.I.*, Vol.4, pp.13-22.
- Choubert G. (1963). *Histoire Géologique du Précambrien de l'Anti-Atlas. Notes et Mémoires du Service Géologique du Maroc*, No 162, pp.352.
- Chouteau T. (2001). *Les Méthodes Électriques, Notes de cours*. Publications Ecole Polytechnique, Montréal.
- Gasmi M., Ben Dhia H., Andrieux P. and Amri F. (2004). Contribution de la Prospection Électrique à l'Étude Hydrogéologique des Aquifères Dans la Plaine de Segui-Sud (Tunisie Méridionale). *Science et Changements Planétaires / Sécheresse*, Vol.15, N° 2.
- Jenny J. and Borreguero M. (1999). *Interprétation des Sondages Électriques sous Windows*. W-Geosoft, Geotrade Instruments, Lausanne, Suisse.
- Tabbagh A. (1995). Méthodes Électriques et Electromagnétiques Appliquées à l'Archeologie et à l'étude de l'environnement. *Revista Física de la Tierra*, Vol.7, pp.161-192.

---

#### **Semblanza del autor**

Saad Bakkali. Es ingeniero en geofísica graduado por el Institut de Physique du Globe de Strasbourg, de la Universidad Louis Pasteur de Estrasburgo (Francia) en 1989, donde también realizó una maestría en geofísica y geoquímica fundamental y aplicada. Participó en numerosos proyectos relacionados con ingeniería aplicada cuando asumió el cargo de profesor de geofísica aplicada y procesamiento de señales en la Escuela Mohammadia de Ingenieros, en Rabat (Marruecos). Desde 1999, imparte el curso de geofísica aplicada a los estudiantes de la maestría en ingeniería civil de la Facultad de las Ciencias y Técnicas de Tánger (Marruecos). Sus trabajos han sido objeto de varios artículos publicados en revistas nacionales e internacionales, referentes al procesamiento de señales aplicadas a datos geofísicos. Actualmente es profesor de geofísica aplicada y procesamiento de señales en la Facultad de las Ciencias y Técnicas de Tánger.