

IDENTIFICATION DES AQUIFERES PROFONDS PAR LA PROSPECTION ELECTRIQUE APPLICATION A L'EST ALGERIEN

Reçu le 10/01/2005 – Accepté le 08/12/2007

Résumé

Les ressources en eau de l'Est Algérien sont en cours de déstockage notamment ceux des l'aquifères superficiels. L'utilisation des eaux des aquifères profonds nécessite une connaissance approfondie des caractéristiques géo-électriques des formations perméables. Pour cela nous avons utilisé la prospection électrique pour positionner les forages d'eau pour des profondeurs moyennes de l'ordre de 200 m. Ceci a nécessité le développement d'une nouvelle technique d'interprétation et la proposition de nouvelles formules empiriques pour implanter des forages ayant un maximum de rendement au niveau des débits.

Mots clés : Salinité Déstockage - Aquifère - Prospection électrique - Formules empiriques - Débit.

Abstract

The water resources in eastern Algeria are diminishing especially those of the superficial groundwater. The use of deep groundwater waters requires a thorough knowledge of the geo-electric characteristics and the permeable formations. For this we have used the electric prospection to locate the drilling wells waters having an average depth of 200 m. This has required the development of a new interpretation technique and a suggestion of new empirical formulary to implant drilling wells having a maximum of efficiency at the flow level.

Keywords: Drying up-aquifer. electric prospection. empirical formulary. flow

A. BOUDOUKHA

Laboratoire de recherche en hydraulique appliquée.
Université de Batna
Algérie

ملخص

200

الكلمات المفتاحية:

تناقص -المائية.الطبقة- الكهربائي التنقيب - تجريبية قوانين- الصرف كمية

INTRODUCTION

Les méthodes géophysiques pour la recherche de l'eau et l'implantation de forages, sont efficaces si elles viennent en complément des études hydrogéologique, géomorphologique et la photo-interprétation. L'objectif de la géophysique est de détecter sur un site délimité par l'hydrogéologue, une ou plusieurs anomalies pouvant emmagasiner l'eau souterraine. Le second but est de déterminer les caractéristiques géoélectriques de ces couches ou de ces anomalies. Le sondage électrique vertical (SEV), est une méthode de prospection géophysique bien adaptée à l'hydrogéologie et qui se veut quantitative pour l'identification des aquifères. Depuis 1973, plusieurs études hydrogéologiques et géophysiques [2] [3] [4] [5] [6] ont été effectuées dans la région et afin d'augmenter le taux de réussite des ouvrages d'exploitation, nous nous sommes intéressés à la prospection électrique selon le dispositif de Schlumberger avec lequel nous avons effectués plus de 4000 SEV en ligne AB = 2 000 m (MN max. = 220 m). Ces SEV ont été exécutés à travers l'Est algérien dans les wilayas de Bordj Bou Arréridj, Sétif, Mila, Batna, Biskra, Oum El Bouaghi, Skikda, Annaba, Souk Ahras, Khenchela et Tébessa.

1.1. PRESENTATION DE LA METHODE

1. PRINCIPE

Le principe consiste à envoyer à partir de la surface un courant électrique I à l'aide de deux électrodes externes A et B qu'on écarte progressivement et à mesurer la différence de potentiel entre deux électrodes internes M et N. Ceci nous permet de calculer la résistivité apparente (ρ_a) [1] du terrain à l'aide de la formule (1).

$$\rho_a = K(\Delta V/I) \quad (1)$$

K: un coefficient géométrique qui dépend de la position du quadripôle AMNB

qui peut être calculé de la manière suivante :

$K = \pi (AM \cdot AN / MN)$ pour le dispositif de Schlumberger

$K = 2 \pi MN$ pour le dispositif de Wenner.

La courbe de sondage électrique représente l'évolution de la résistivité apparente en fonction de AB/2; son interprétation à l'aide d'abaques, permet de calculer les épaisseurs et les résistivités des différentes couches traversées par le courant.

1.2. INTERPRETATION

L'interprétation des mesures obtenues sur le terrain est faite par comparaison avec des sondages et profils théoriques correspondant à des séries et des structures géologiques types établies à partir de modèles réduits. L'interprétation du sondage électrique peut être effectuée sur le terrain en utilisant la méthode de HUMMEL qui donne des résultats rapides qui se sont avérés très suffisants pour l'implantation de forages d'eau. [9].

2. AVANTAGES ET INCONVENIENTS DE LA METHODE

Cette méthode est peu coûteuse et elle est mieux adaptée à la recherche peu profonde. On arrive à détecter avec une bonne précision les paramètres géoélectriques des formations peu profondes (jusqu'à 200 m). Au delà d'une profondeur de 100 m, les couches de faibles épaisseurs ne sont pas décelables et nécessitent une bonne connaissance géologique du terrain.

En effet, pour une même résistivité on peut faire correspondre deux couches différentes qui se comportent d'une manière tout à fait contradictoire vis à vis de l'eau.

En effet pour une résistivité de 30 ohm.m on peut faire correspondre des marnes, des sables argileux ou des conglomérats à eau salée d'où la nécessité d'avoir un sondage étalon.

3. NOUVELLE APPROCHE D'INTERPRETATION

3.1. POSITIONNEMENT DU PROBLEME

Dans l'Est algérien, spécialement dans les hautes plaines sétifiennes et constantinoises, les aquifères superficiels ont été largement surexploités. L'épuisement de ces réserves est en relation directe avec l'augmentation des puits et des forages et la longue sécheresse qui s'est abattue sur le pays.

Ceci pousse à rechercher de nouvelles ressources hydriques en profondeur et donc dans les deuxième et troisième couches perméables.

Le problème posé par les agriculteurs est de détecter la présence de ces couches et d'estimer la profondeur du forage à l'aide du SEV.

Pour avoir des résultats rapides nous nous sommes basés sur la méthode de Hummel qui s'est avérée efficace pour une première approche.

Le suivi de certains forages, nous a permis de situer avec exactitude la couche aquifère à l'aide de la diagraphie. [7].

3.2. METHODE DE HUMMEL

L'expérience a montré que pour avoir des résultats rapides et efficaces, l'interprétation doit se faire sur terrain en fonction de la lithologie selon la méthode de Hummel. Cette méthode consiste à réduire n'importe quel sondage à n couches, en une succession de sondages à deux couches.

Ainsi, on commence par interpréter les deux premiers terrains en faisant abstraction du troisième, du quatrième, ... terrain s'il(s) existe(nt). Puis on remplace les deux premiers terrains par un terrain fictif électriquement équivalent qui forme avec le troisième terrain qui se trouve en dessous, un nouvel ensemble à deux terrains.

On interprète ce nouvel ensemble en faisant abstraction du quatrième et du cinquième terrain(s) s'il(s) existe(nt). Ce procédé peut être répété itérativement jusqu'aux plus grandes profondeurs atteintes par le SEV. [8] Pour remplacer deux terrains par une seule couche fictive, il faut connaître la résistance transversale (T) et la conductance longitudinale (S).

$$T = h * \rho \quad (2)$$

$$S = h / \rho \quad (3)$$

avec: h: l'épaisseur;
ρ: la résistivité.

Ces paramètres permettent de déterminer l'épaisseur fictive (hf) et la résistivité fictive ρf. D'une manière générale, pour trois terrains, on cherche (hf) et ρf de telle sorte que:

$$T = hf * \rho_f = F((h_2 / h_1) * (\rho_2 / \rho_1)) (T_1 + T_2) \quad (4)$$

$$S = hf / \rho_f = G((h_2 / h_1) * (\rho_2 / \rho_1)) (S_1 + S_2) \quad (5)$$

où F et G sont des fonctions empiriques et h1, h2, ρ1 et ρ2 sont déterminés graphiquement ce qui permet d'estimer la profondeur (P) et la résistivité (ρ) des formations traversées par le SEV uniquement à l'aide de l'abaque CH1 sans passer par les abaques auxiliaires pour l'interprétation par réduction d'un sondage de type H.

Cette valeur graphique de la profondeur de l'aquifère a été testée pour une centaine de puits et de forages exécutés dans une maille de 220 m de côté (MN max.). L'approche est différente que l'on est en présence d'une courbe (H) (à terminaison montante) ou d'une courbe (K), (à terminaison descendante).

3.3. DETERMINATION DE LA LIMITE SUPERIEURE DE L'AQUIFERE

33.1. CAS D'UNE COURBE H

Pour ce type de courbes, nous nous sommes intéressés à la limite supérieure de l'aquifère puisque le substratum n'est pas atteint par le SEV. On a remarqué que la profondeur théorique (Pth) de l'aquifère n'est pas fonction de la résistivité mais uniquement fonction de l'abscisse (A) de l'origine de l'abaque CH1 ou croix gauche de ce dernier par rapport à la valeur 100 de la courbe du SEV. Deux cas peuvent se présenter.

- Cas 1 (Fig.1):

Si le point A se trouve entre 1 et 100 sur l'axe des abscisses, la profondeur théorique de l'aquifère est alors égale à l'abscisse A. L'exemple que nous avons pris se trouve au Sud Ouest de Teleghma aux coordonnées indiquées sur la figure. Théoriquement, l'aquifère se trouve dans les calcaires fissurés à partir de 60 m de profondeur. Lors de la réalisation du forage, cette formation a été atteinte à 65 m de profondeur soit une erreur relative de 3 %. La comparaison de la profondeur réelle (Pr) de l'aquifère avec la profondeur théorique (Valeur A) donnée par l'abaque a conduit à un coefficient de corrélation linéaire significatif. Tableau 1;

Cas de figures	r calculé	r critique	Nombre de couples	Equation de la droite de régression
A < 100	0.91	0.74	20	$P_r = 0.9 P_{th} + 7$
A > 100	0.97	0.74	20	$P_r = 0.9 P_{th} + 6$

Tableau 1: Coefficients de corrélation pour les courbes H.

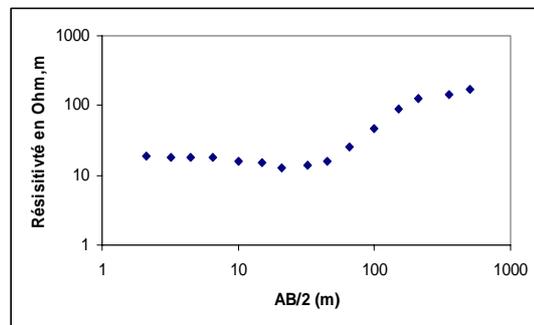


Figure 1: Détermination de la profondeur (P) de l'aquifère dans le cas d'une courbe H (1^{er} cas) P = A.

- Cas 2 (Fig.2) :

Par contre si le point A se trouve au delà de la valeur 100 sur l'axe des abscisses, le rapport entre la profondeur théorique (Pth) et l'abscisse A est égal à 3. Cette proportionnalité est confirmée par l'étude des données de plusieurs SEV dont celui du forage Zdimm qui a été effectué au Sud Ouest de Sétif pour le compte de la Générale des Concessions Agricoles Sétif (GCA). Il s'agit de calcaires fissurés du Jurassique qui lors du fonçage, on a enregistré les premières pertes partielles à partir de 62 m de profondeur. L'interprétation des données du SEV, montre que la zone de broyage correspond à un abscisse A = 210 m ce qui nous permet d'avancer la valeur de $210:3 = 70$ m soit une erreur relative de 6 %. L'étude statistique de ces données a permis également d'avoir des corrélations linéaires très significatives. Tableau 1.

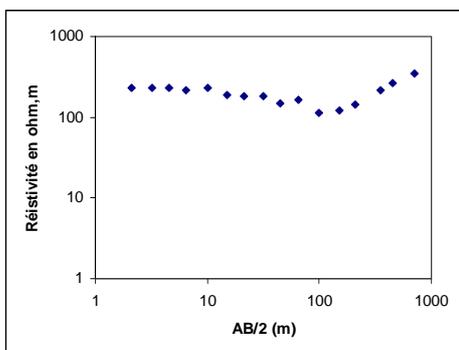


Figure 2: Détermination de la profondeur (P) de l'aquifère dans le cas d'une courbe H (2^{ème}) cas P = A/3.

33.2. CAS D'UNE COURBE K

Pour ce type de courbes, nous nous sommes intéressés à la limite inférieure de l'aquifère afin de proposer des forages ou des puits parfaits qui exploitent la totalité de la nappe. L'interprétation des données des SEV afin de déterminer cette limite, fait intervenir en plus de l'abscisse A, la résistivité de la couche aquifère. Trois cas peuvent se présenter.

Cas 1 :

Si l'abscisse A se trouve entre les abscisses 1 et 100 et que la résistivité est supérieure à 50 ohm.m, la profondeur théorique (Pth) de l'aquifère est directement lue sur l'axe des abscisses. Fig.3. L'exemple type est ce lui de la région Bainane à Mila où la couche aquifère est formée par des calcaires fissurés ayant une résistivité de 150 ohm.m. qui se limitent théoriquement à 35 m de profondeur.

L'exécution d'un forage de 45 m de profondeur a permis de voir que le substratum marneux commence à partir de 45 m soit une erreur relative 12.5 %.

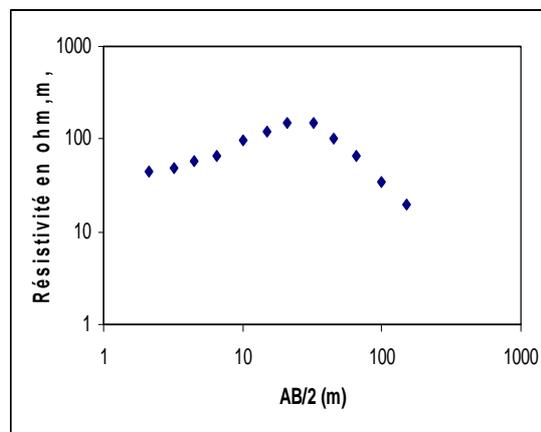


Figure 3: Détermination de la profondeur (P) de l'aquifère dans le cas d'une courbe K 1^{er} cas P = A.

cas 2:

Par contre si la résistivité est inférieure à 50 ohm.m la limite inférieure théorique de l'aquifère se trouve à une profondeur égale à A/3; Fig. 4.

La région de Taraste à Ferdjioua est caractérisée par des terrains à dominance argilo-marneuse ayant une résistivité allant de 10 à 20 ohm.m. La couche aquifère se trouve dans des marno-calcaires ayant une résistivité de 20 ohm.m. L'interprétation des données de ce SEV a montré que l'abscisse A = 45 m ce qui nous permet de dire que la limite inférieure théorique de l'aquifère se trouve à $45:3 = 15$ m. L'exécution du puits dans la région du SEV a montré que le substratum commence exactement à cette profondeur.

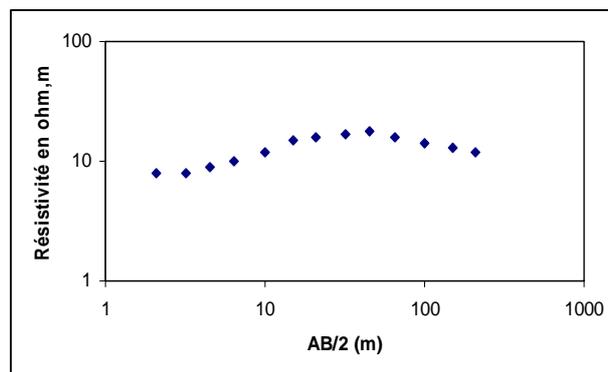


Figure 4: Détermination de la profondeur (P) de l'aquifère dans le cas d'une courbe K 2^{ème} cas P = A/3.

Cas 3:

Si l'abscisse A se trouve au delà de la valeur 100, quelle que soit la valeur de la résistivité, la limite inférieure théorique de l'aquifère est égale à $A/3$ (Fig. 5) on retombe à ce moment là dans le cas 2 de la courbe H. Parmi les régions qui ont cette caractéristique celle de Zorg à Ain Baida. Il s'agit de marne, d'argile, de calcaire marneux et de marno-calcaire dont la résistivité varie entre 6 et 30 ohm.m.

Dans ce cas, la deuxième couche formée théoriquement par des marno-calcaires de résistivité égale à 20 ohm.m se limite à une profondeur de $220:3 = 73$ m. L'exécution d'un forage de 80 m a montré que l'aquifère est à eau salée, qu'il se trouve dans des calcaires marneux et que le substratum marneux commence à partir de 70 m de profondeur soit une erreur de moins de 3 %.

L'étude de la régression linéaire a montré qu'on a des coefficients de corrélation très significatifs. Tableau 2.

La formule (6) s'applique à des terrains renfermant un pourcentage appréciable d'argile et faiblement alimentés alors que la formule (7) est applicable à des terrains renfermant un faible pourcentage d'éléments fins et bien alimentés;

- dans le cas d'une courbe K où le SEV atteint le substratum, le forage doit être parfait avec une majoration de 10 à 15 m pour la décantation.

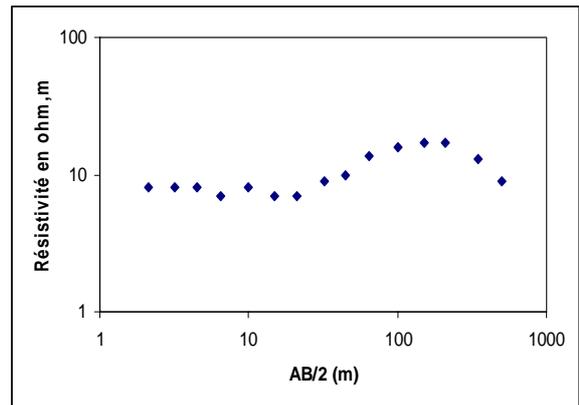


Figure 5: Détermination de la profondeur (P) de l'aquifère dans le cas d'une courbe K
3^{ème} cas $P = A/3$.

3.4. DETERMINATION DE LA PROFONDEUR DU FORAGE

Le but des SEV effectués est purement hydrogéologique et la prospection devrait, dans le cas de la présence d'un terrain résistant et aquifère, donner la profondeur théorique de ce dernier et celle du forage ayant un débit optimal. Pour résoudre ce problème, nous avons fait le suivi d'une centaine de forages en étudiant:

- le débit;
- la profondeur totale de forage (Pf) ayant un maximum de débit;
- la lithologie;
- la diagraphie dans certains cas;
- les données du SEV.

Cette étude a abouti à deux résultats:

- dans le cas d'une courbe H, il faut que le forage traverse une épaisseur mouillée de 50 à 70 m à partir du toit de l'aquifère pour atteindre les pertes totales ou partielles, cas des forages étudiés plus haut (Fig. 1 et 2). Ceci nous a permis d'établir empiriquement les formules 6 et 7.

$$Pf = Pr + 70 \quad (6)$$

$$Pf = Pr + 50 \quad (7)$$

Cas de figures	r calculé	r critique	Nombre de couples	Equation de la droite de régression
$A < 100$ et $\rho > 50$	0.96	0.74	20	$P_r = 0.8 P_{th} + 6$
$A < 100$ et $\rho < 50$	0.95	0.74	20	$P_r = 0.8 P_{th} + 3$
$A > 100$	0.91	0.74	20	$P_r = 0.9 P_{th} + 10$

Tableau 2: Coefficients de corrélation critiques et calculés pour la courbe K.

CONCLUSION

Nous en déduisons que la prospection hydro-géophysique exige une connaissance approfondie du terrain et une grande expérience d'interprétation des données des SEV qui doit se faire in situ. Nous avons pu ainsi augmenter le taux de réussite des forages à près de 90 % pour des lignes AB \leq 2 000 m ce qui reste à vérifier pour les grandes lignes AB.

RÉFÉRENCES

- [1]Astier L. (1971): Géophysique appliquée à l'hydrogéologie. Ed. Masson et Cie. Paris. 277 pages.
- [2]Boudoukha A. (1988): Etude hydrogéologique et modélisation du système aquifère fermé d'El eulma-Ain Lahdjar (région de Sérif-Algérie). Thèse de Doctorat. Univ. de Franche Compté-Besançon- France. 188 pages.
- [3]Boudoukha A. (1998): Hydrogéologie des hautes plaines sétifiennes et qualité des eaux souterraines. Thèse de Doctorat d'état. Univ. Badji-Mokhtar-Annaba. 230 pages.
- [4]C.G.G. Co. (1973): Etude par prospection géophysique des hautes plaines sétifiennes. Ministère de l'équipement. Alger 53 pages.
- [5]Demdoum A. (1996): Etude hydrogéologique de la région d'El eulma et le problème de la qualité de l'eau. Mémoire de magister. Univ. de Constantine. 210 pages.
- [6]Toubal A.H. (2005): Regard sur les perspectives hydrogéologiques profondes des hautes plaines sétifiennes à travers la prospection électrique. Bul. Serv. Géol. Alg. Vol. 16 n° 1 pp 55-67.
- [7]Desbrandes P (1968): Théorie et interprétation des diagraphies. t1. Technip. Edit. Orléans. 545 pages.
- [8]Haddouchi B. et Kizamou A. (1992): présentation du logiciel « ELSI » pour l'interprétation des sondages électriques et des sondages sismique réfraction. Rev. Fac. Sc. Marrakech-Semlilia. Maroc. PP 57-61.
- [9]Mayer De Stadelhof C. (1992): Application de la géophysique aux recherches d'eau. Technip Edit. Orléans. 133 pages.