Expérience d'application conjointe des méthodes électriques, électromagnétiques et de la méthode de sondage par la Résonance Magnétique Protonique (RMP)

Anatoly LEGCHENKO[1,2], Jean-Michel BALTASSAT[1]

[1]BRGM, Service Aménagement et Risques Naturels, BP 6009, 45060 Orléans Cedex, France
[2]IRD, UR R27 "Geovast", 32 avenue H. Varagnat, 93143 Bondy Cedex, France.

Abstract

A complex geophysical methodology of groundwater investigation has been developed, based on joint application of Magnetic Resonance Sounding (MRS) with electrical and electromagnetic methods. MRS is based on the resonance behavior of proton magnetic moments in the geomagnetic field. The main distinction of MRS compared to other geophysical tools is that it measures the magnetic resonance signal directly from groundwater molecules, rendering it a selective tool sensitive to only groundwater. Joint use of MRS and electrical/EM methods improves the quality of interpretation and optimizes the fieldwork, resulting in a more efficient geophysical study in comparison with a single-method survey. For demonstration, we present a case history from Saudi Arabia (fractured granite aquifer).

Introduction

Les méthodes géophysiques traditionnelles d'exploration se fondent sur l'analyse d'anomalies de structures ou de paramètres physiques qui sont liés à différents facteurs qui ne sont pas eux-mêmes nécessairement liés de façon unique à la présence ou à l'absence d'eau dans le milieu étudié. Ainsi, par exemple, la conductivité électrique (inverse de la résistivité) des roches est proportionnelle (selon la loi d'Archie) à la conductivité électrique du fluide contenu et à une certaine puissance de la porosité, mais elle dépend également largement de la composition minéralogique et en particulier de la teneur en argile. Une connaissance de la conductivité de l'eau peut également servir pour l'estimation de la salinité de l'eau qui est dans certains cas le facteur déterminant.

Les résultats fournis par la méthode de Résonance Magnétique Protonique (RMP) sont directement liés à l'eau (Legchenko and Valla, 2002a ; Legchenko *et al.*, 2002b), et donc l'interprétation des données peut être effectuée sans information supplémentaire sur les aquifères (bien sûr, quand disponible, cette information peut encore améliorer le résultat).

La RMP est, en revanche, peu sensible à la qualité de l'eau et les résultats sont moyennés par la surface de la boucle (100x100 m environ). Seule l'interprétation 1D est actuellement disponible et, appliquée aux études des systèmes 2D/3D, la RMP n'a pas toujours la résolution latérale suffisante pour bien résoudre la géométrie des aquifères. Pour améliorer

l'efficacité des études géophysiques avec des finalités hydrogéologiques on propose une méthodologie basée sur l'application conjointe des méthodes électriques/électromagnétiques et la RMP.

Interprétation conjointe des données géophysiques

L'expérience d'application pratique de la RMP dans des contextes géologiques différents nous permet de classer les systèmes aquifères par leurs paramètres physiques : teneur en eau RMP, temps de relaxation T_1 et résistivité (tableau 1).

Structure	Roche	w_{av} (%)	T_1 (ms)	Résistivité (Ω-m)	Remarques
Roches magnétiques	Basalte, sable avec 2% de magnétite	0	-	-	Dans des roches magnétiques la RMP ne peut fournir aucune information sur des aquifères
Roches peu perméables (non aquifère)	Argile	< 3	< 100	< 30	En absence d'eau minéralisée
	Sable sec, granite altéré non saturé	< 1	< 100	> 1000	
	Granite sain			> 10000	
	Zone non saturée : craie, calcaire	$2 \div 6$	< 100	$50 \div 200$	
Aquifère	Granite fissuré, grès, calcaire non fracturé	$2 \div 8$	< 200	Eau de mer < 3	La résistivité dépend généralement de la résistivité de l'eau
	Roches fracturées (granite, grès, calcaire)		$350 \div 600$	Eau minéralisée $3 \div 30$	
	Karst	$2 \div 3$	> 500		
	Craie compacte	$15 \div 20$	< 150		
	Craie fracturée		$350 \div 600$	Eau douce $30 \div 200$	
	Sable fin	$5 \div 15$	< 250		
	Sable moyen		$250 \div 350$		
	Sable grossier		$350 \div 500$		
	Gravier		> 500		

Tableau 1 : Caractérisation des aquifères par les paramètres physiques.

Compte tenu des données présentées dans le tableau 1 on peut définir un schéma d'interprétation tel que présenté sur la figure 1.

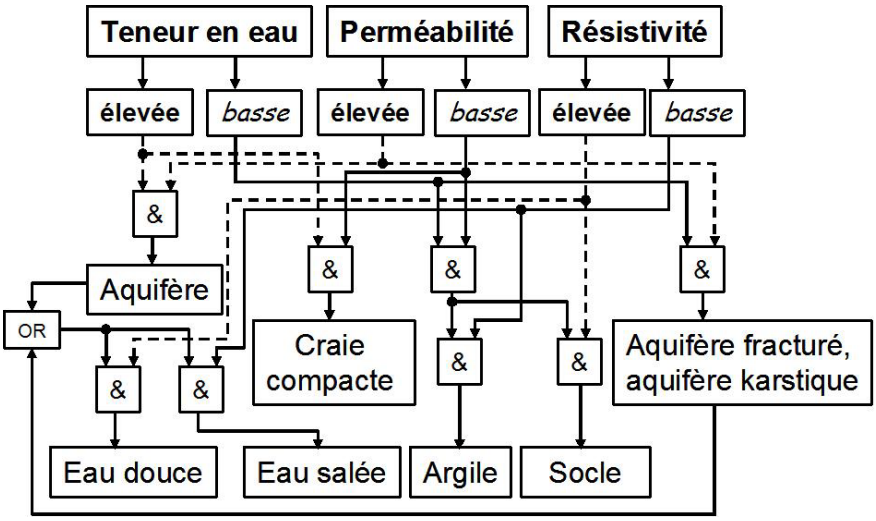

Figure 1 : Schéma d'interprétation des données électriques/EM et RMP.

Exemple de terrain

Une étude géophysique et hydrogéologique a été menée en Arabie Saoudite avec pour objectif l'alimentation en eau potable d'une mine (Legchenko *et al.*, 1998) dans un environnement de socle fracturé. Dans ce contexte, les aquifères sont souvent associés avec des failles ou zones fracturées. Pour les mettre en évidence, une prospection électromagnétique avec la méthode HLEM (Horizontal Loop EM) a été réalisée. La carte d'anomalie EM est présentée sur la figure 2. Les zones anomales ont été vérifiées avec la RMP pour déterminer leurs capacités hydrodynamiques. Les amplitudes du signal RMP montrent une corrélation significative avec les débits de forages (figure 3) sauf en BH12 et BH13 qui sont perturbés par la présence de roches magnétiques dans le sous-sol. La RMP a ainsi permis de localiser la zone productrice à l'ouest de la région étudiée (figure 4).

Conclusions

La méthode RMP fournit l'information sur la géométrie (1D) et la qualité hydrodynamique des aquifères. Les méthodes électriques et életromagnétiques permettent une reconnaissance générale des structures, de caractériser les types de roche par leurs résistivités et, dans certains cas, de préciser la géométrie et d'estimer la qualité de l'eau. Enfin, une interprétation conjointe de ces données permet plus efficacement de localiser et caractériser les aquifères. L'expérience pratique d'application conjointe des méthodes électriques/EM et RMP dans différents contextes géologiques a mis en évidence l'efficacité et la fiabilité de cette approche.

Références

Legchenko A., Valla P., 2002a. A review of the basic principles for proton magnetic resonance sounding measurements. *Journal of Applied Geophysics*, 50, 3-19.

Legchenko A., Baltassat J.M., Beauce A., Bernard J., 2002b. Nuclear magnetic resonance as a geophysical tool for hydrogeologists. *Journal of Applied Geophysics,* 50, 21-46.

Legchenko A.V., Baltassat J.M., Beauce A., Makki M.A., Al-Gaydi B.A, 1998. Application of the surface proton magnetic resonance method for the detection of fractured granite aquifers. *Proceedings of the IV Meeting of the Environmental and Engineering Geophysical Society (European Section), September 14-17, 1998, Barcelona (Spain),* 163-166.

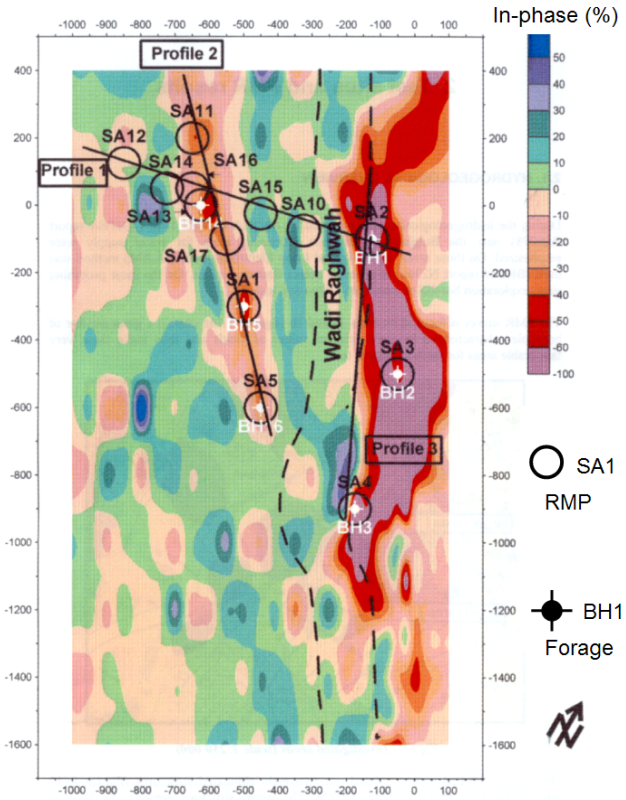

Figure 2 : Carte des anomalies électromagnétiques In-phase.

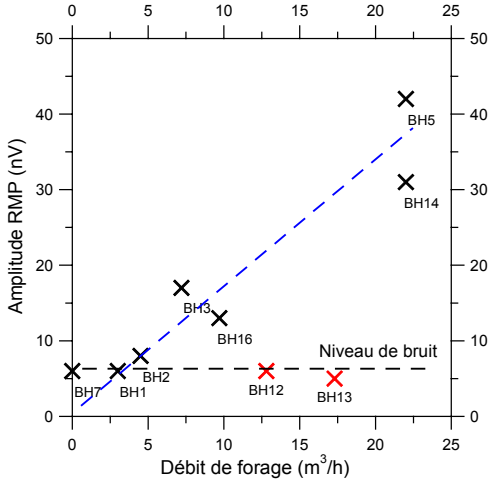

Figure 3 : Corrélation entre l'amplitude RMP et le débit de forages.

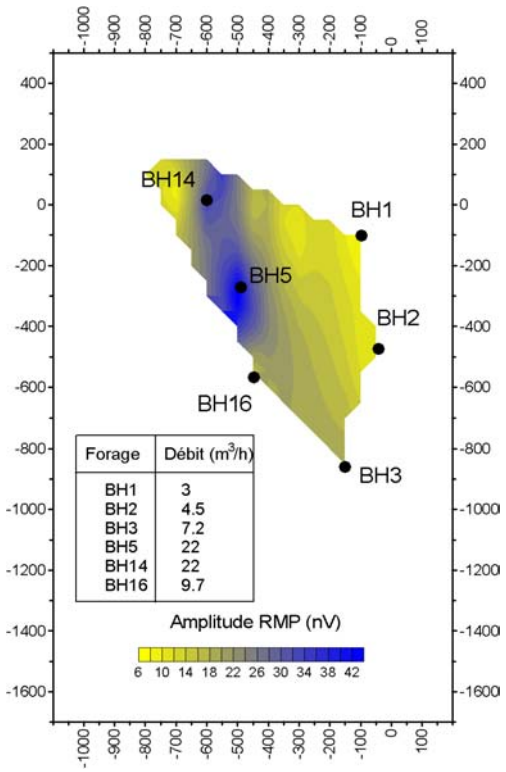

Figure 4 : Zone productrice localisée par la RMP.