



# Imagerie et caractérisation des aquifères à l'aide de sondages par Résonance Magnétique Protonique

## Une méthode directe de détection de l'eau souterraine

Les méthodes géophysiques permettent de mesurer des paramètres physiques influencés par la présence d'eau mais la plupart ne renseignent que de façon indirecte sur sa présence dans le sous-sol. Le principe de la méthode RMP consiste à mesurer le champ magnétique émis par les noyaux d'hydrogène des molécules d'eau excités par un champ magnétique de fréquence spécifique (dite fréquence de Larmor) émis grâce à une boucle déployée en surface.

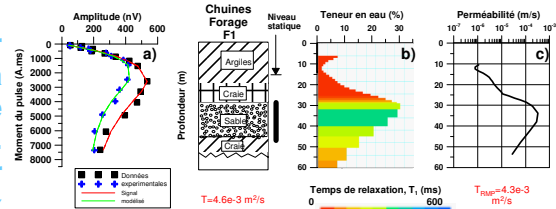


Figure 1 : Sondage réalisé dans le département de l'Eure-et-Loir, le niveau aquifère productif est dans les sables sous-jacents à la craie.

### En milieu sédimentaire

Comme l'illustre la Figure 1, l'inversion des signaux RMP (a) permet d'établir une distribution verticale de teneur en eau et de temps de relaxation  $T_1$  (b). L'augmentation de ces 2 paramètres en face du niveau sableux traduit sa productivité. L'accès à la perméabilité (c) est obtenu au moyen d'une loi empirique (Figure 2). L'utilisation du paramètre transmissivité RMP ( $T_{RMP}$ ) permet de s'affranchir des problèmes d'équivalence et de comparer cette valeur à celle mesurée au forage.

Par étalonnage avec des données de pompage, des relations empiriques ont été établies entre les paramètres RMP et les caractéristiques hydrodynamiques des aquifères. Une relation empirique permettant d'estimer la transmissivité à partir de la teneur en eau ( $w$ ) et du temps de relaxation  $T_1$  a été établie et calibrée (Figure 2).

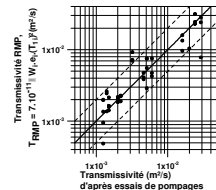


Figure 2 : corrélation entre les mesures de transmissivité RMP et celles issues de pompages d'essai.

### En zone de socle

La réalisation de profils comprenant plusieurs sondages RMP permet de définir précisément l'extension géométrique d'un aquifère. Ci-contre un exemple obtenu dans un milieu granitique fracturé montrant les variations spatiales des teneurs en eau et de la perméabilité déduites des sondages RMP (Figure 3).

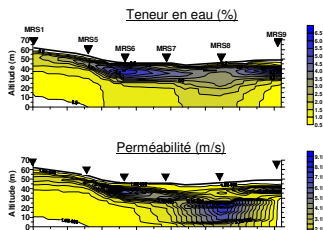


Figure 3 (à gauche): Sondages RMP interpolés le long d'un profil, près de Kerbernez (Bretagne).

### Imagerie d'un conduit karstique

Une prospection a été réalisée à proximité de la position supposée d'un conduit karstique, près du gouffre de Pou Meysen, situé sur la commune de Rocamadour. Une réponse RMP bien marquée a été observée avec un rapport signal/bruit très favorable. Une méthodologie 2D a été développée et l'inversion des données RMP a permis de déterminer la position et la taille du conduit (Figure 4). La topographie de la galerie a été relevée par des plongeurs spéléologues qui ont également implanté des balises électromagnétiques permettant une localisation très précise du conduit. La comparaison avec les résultats par RMP est très probante. Elle a permis de valider la précision de l'imagerie de conduits ennoyés et a montré l'intérêt de cette approche.

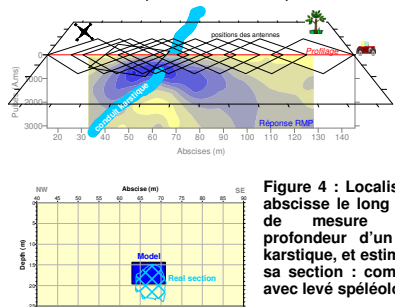


Figure 4 : Localisation en abscisse le long du profil de mesure et en profondeur d'un conduit karstique, et estimation de sa section : comparaison avec levé spéléologique.

### Dans la ZNS...

L'appareil actuel NUMIS+ permet d'observer l'eau « libre » dont la réponse RMP est caractérisée par un temps de décroissance suffisamment long (> 60ms). Dans la zone non saturée, une forte proportion d'eau est invisible car elle a un temps très court.

Un prototype avec un délai instrumental réduit, NUMIS<sup>PROTON</sup>, est en cours de développement. Les résultats préliminaires (Figure 5) mettent en évidence une partie de l'eau qui n'était pas visible avec l'appareil standard NUMIS+.

Dans les dix premiers mètres, la part importante qui demeure invisible est attribuée aux argiles.

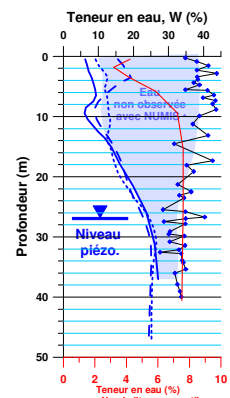
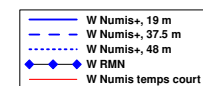


Figure 5 : Logs de teneur en eau dans la craie mesurés par sondages RMP avec plusieurs boucles (19, 37.5 et 48m) avec l'appareil standard et l'appareil à temps court. La comparaison avec les teneurs en eau mesurées sur carottes montre une nette amélioration.

### Une méthode robuste

La combinaison des informations obtenues par sondages RMP et les mesures en forage a permis d'établir la robustesse des résultats. C'est aujourd'hui un outil opérationnel non destructif qui permet de mesurer le niveau statique, la géométrie de l'aquifère, la transmissivité hydraulique dans de nombreux contextes géologiques.

En constante évolution: les nouveaux enjeux sont de parvenir à travailler en zone brouillée (i.e. plus près des lignes électriques...), de continuer à mieux caractériser les propriétés hydrologiques des aquifères, de réaliser et calibrer les mesures dans la zone non saturée...

#### Références bibliographiques

> 2 numéros spéciaux édités par l'European Association of Geoscientists & Engineers du journal *Near Surface Geophysics*, vol. 3, n°3 et 4, Août et Novembre 2005, consacrés à la méthode RMP (en particulier, plusieurs articles liés à des projets de recherche BRGM).

> Programme européen d'étude des remontées de nappe dans la craie, <http://www.flood1.info>

> M. Boucher, J.-F. Girard, A. Legchenko, J.-M. Baltassat, N. Dörfli, K. Chalikhakis, 2005, *Using magnetic resonance soundings to locate a water-filled karst conduit*, soumis à *Hydrology Journal*.

#### Auteurs

Girard Jean-François

Baltassat Jean-Michel

BRGM / Service Aménagement et Risques Naturels

Boucher Marie

Thèse en collaboration avec

BRGM / IRIS Instruments / IRD / ISTO

Travaux réalisés dans le cadre de la collaboration avec:



[www.brgm.fr](http://www.brgm.fr)