

Contribution de la géophysique à l'étude d'un aquifère karstique - Exemple : le site karstique du Lamalou

W. Al-Fares¹, M. Bakalowicz¹, Y. Albouy², J.-M. Vouillamoz², M. Dukhan³,
G. Toe² et R. Guérin⁴

¹Univ. de Montpellier II-CNRS Hydrosociences, cc MSEM, 2 pl. E. Bataillon, 34095 Montpellier cedex 5

²IRD, Labo. de Géophysique, 32 av. Henri Varagnat, 93143 Bondy Cedex

³IRD, 911 av. Agropolis, 34000 Montpellier

⁴UMR 7619 Sisyphe, Univ. Pierre et Marie Curie, cc 105, 4 pl. Jussieu, 75252 Paris Cedex 05

Abstract: The experimental site of Lamalou is located at 35 km north of Montpellier. It consists in a calcareous plateau with a karst spreading over the first few dozen meters. A well-known natural cave is accessible from surface, at 20 m depth. The objective of this study is to analyze the upper part of the karstic aquifer and to identify the cave by geophysical methods. Three methods are applied: ground penetrating radar, electrical 2D imaging and magnetic resonance sounding. The results obtained by the three methods allow to describe and determine the upper structures: epikarst, fractured zones, massive zones, bedding planes and cave. These results are confirmed by in situ observations and by two core drillings.

Introduction

L'objectif de ce travail est de vérifier les performances de plusieurs méthodes géophysiques : radar (GPR), panneau électrique (PE) et résonance magnétique des protons (RMP) pour l'étude de la partie superficielle de l'aquifère karstique du Lamalou.

Le site, situé sur le Causse de l'Hortus (à 35 km au nord de Montpellier), est constitué d'un plateau calcaire d'épaisseur comprise entre 80 à 100 m. Ce plateau s'étend sur une superficie d'environ 60 km². Le sol est quasiment inexistant, la surface du site présente des lapiaz parfois recouverts par des cailloutis résultant de son démantèlement. L'aquifère est constitué par des calcaires valanginiens fortement fracturés et karstifiés (porosité = 1,8%). Les écoulements d'eau sont totalement assurés par les fractures et les fissures du karst. Les eaux sont collectées par une galerie souterraine située à la limite entre les zones saturée et non saturée (Fig. 1). Cette galerie connue sur plusieurs dizaines de mètres, s'élargit pour former une grotte accessible au voisinage de la source. L'épaisseur moyenne de la zone non saturée est de 20 m et celle de la zone saturée est estimée à 50 m (Durand, 1992).

Mesure et interprétation

1. *Prospection GPR*

Sept profils GPR (long de 120 m, espacés de 15 m) ont été réalisés sur la partie la moins profonde du conduit karstique. Ces profils ont été réalisés avec un radar Pulse-Ekko 100 (Sensors & Software) et une antenne de 50 MHz. La vitesse moyenne de propagation des ondes électromagnétiques dans le calcaire, choisie pour les interprétations, est de 0.11 m/ns.

Les profils montrent :

- une zone superficielle marquée par des réflexions multiples, limitée à sa base par une interface bien contrastée. Cette zone d'épaisseur variant entre 8 et 12 m, est caractérisée par une forte fracturation et des fissures de tailles variées. Un réflecteur oblique net (P1), représente le plan de stratification des couches. Il se répète sur l'ensemble des profils. Un talweg (T) recoupe tous les profils. Il semble lié à une faille à faible rejet ou à une fracture. Cette zone constitue l'épikarst qui joue un rôle très important dans les processus de stockage d'eau près de la surface et d'infiltration verticale vers les zones non saturée et noyée (Bakalowicz, 1995).
- plus profondément, une zone d'épaisseur comprise entre 8 et 10 m, composée de calcaires massifs compacts, limitée en bas par un plan de stratification (P2) parallèle à (P1). La faible restitution des signaux GPR dans cette zone est due à l'absence de réflecteurs horizontaux et à la grande homogénéité de cette couche.

Le profil 5 (Fig. 2) est situé juste au-dessus de la cavité principale accessible par un puits naturel (D : aven d'accès). Il retrouve avec précision, la position et la géométrie de la cavité (C) qui se développe à 20 m de profondeur, telle qu'elle est connue par les observations directement faites dans la grotte et par deux forages carottés réalisés sur la cavité.

2. *Prospection par Panneau Electrique (PE)*

Un profil PE (Fig. 3), réalisé sur le profil GPR 5 avec un Syscal d'Iris Instruments dispositif comportait 64 électrodes, espacées de 4 m en configuration Wenner α et β . Les deux séries de mesures ont été combinées pour le calcul d'un modèle inverse bénéficiant de la sensibilité verticale du Wenner α et de la sensibilité latérale du Wenner β . On trouve, en comparant ce profils PE au GPR, un bon accord sur la position de la cavité et la limite entre les calcaires fracturés et compacts. La résistivité électrique pour les 12 premiers mètres, de l'ordre de 4000 Ω .m, correspond à l'épikarst, la résistivité de l'ordre de 8000 à 15000 Ω .m, correspond aux calcaires massifs et compacts. Au centre du profil, les valeurs de la résistivité les plus élevées correspondent à la position de la cavité, dont la géométrie est cependant mal définie.

3. *Prospection par RMP*

La méthode RMP est une nouvelle méthode géophysique de prospection hydrogéologique (Legtchenko & Valla, 2001). Cette méthode permet d'estimer directement la teneur en eau des aquifères. Le principe consiste à mesurer le champ magnétique de relaxation des atomes d'hydrogène des molécules d'eau, après excitation à la fréquence de résonance du champ géomagnétique naturel. Une même boucle, posée au sol, permet d'émettre le champ d'excitation puis de capter le signal RMP dû aux protons. Trois sondages RMP ont été effectués sur la même zone de prospection GPR (Fig. 1). Le but est de déterminer la présence et les profondeurs des niveaux d'eau dans l'aquifère. L'équipement NUMISplus (Iris Instruments) a été utilisé pour réaliser les mesures, avec une boucle d'émission-réception en forme de huit de 37,5 m de côté. L'inversion des données permet d'obtenir la distribution de la teneur en eau en fonction des formations du sous-sol et de la profondeur (Fig. 4). Deux niveaux d'eau sont mis en évidence : le premier dans les cinq premiers mètres correspond au petit réservoir temporaire de l'épikarst ; le second à partir de 24 m correspond à la zone noyée.

Conclusion

L'interprétation des résultats de la prospection GPR a permis de décrire les structures particulières qui caractérisent la partie peu profonde de l'aquifère karstique (épikarst, zone fracturée et karstifiée, zone massive compacte et les plans de stratification), et de localiser avec précision la cavité à 20 m de

profondeur. L'inversion des données électriques a confirmé la position de la cavité karstique, et les épaisseurs de la zone fracturée et de la zone compacte mises en évidence par le GPR. L'inversion des données RMP a contribué à déterminer deux niveaux d'eau : le premier correspond à un petit stockage temporaire dans l'épikarst, et le deuxième correspond au conduit karstique.

Références

- Bakalowicz M., 1995. La zone d'infiltration des aquifères karstiques. Méthodes d'étude. Structure et fonctionnement. *Hydrogéologie*, 4, 3-21.
- Durand V., 1992. Structure d'un massif karstique. Causse de l'Hortus, site des sources du Lamalou.(Hérault). *Thèse doctorale 3^{ème} cycle, Université Montpellier II*, 207 p.
- Legchenko A.V., Valla P., 2001. A review of the basic principles for proton magnetic resonance soundings measurements. *J. App. Geophys.*, in press.

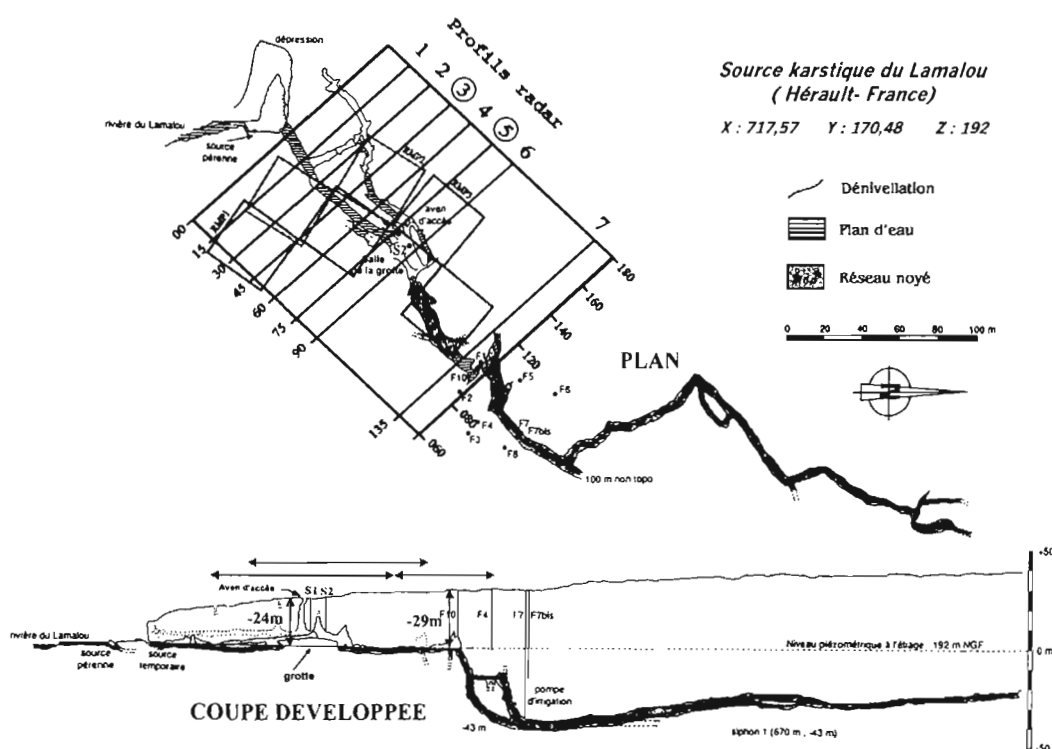


Figure 1 : Position des profils GPR et des sondages RMP (1, 2 et 3) par rapport au plan du conduit karstique. Fi : forages implantés sur le site, S1 et S2 : forages carottés réalisés au-dessus de la grotte.

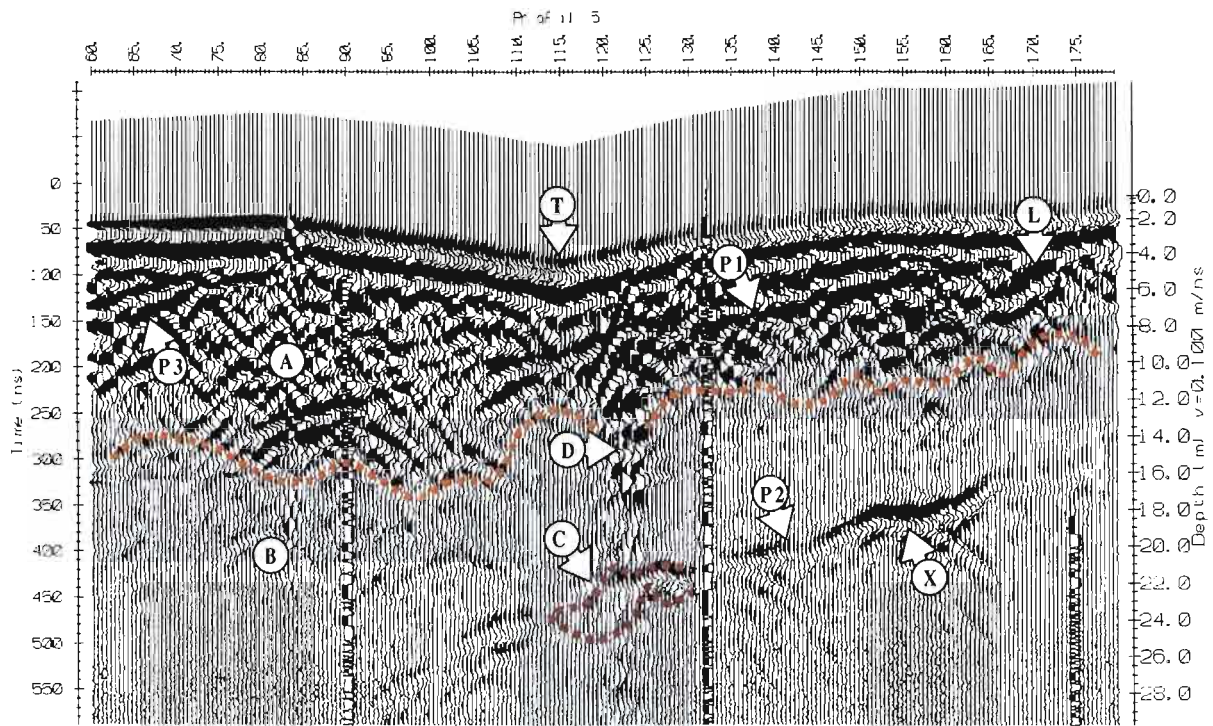


Figure 2 : Interprétation du profil GPR 5. A : Calcaire fracturé et karstifié (épikarst), B : Calcaire massif et compact, C : Cavité karstique, D : Aven d'accès, L : Lapiaz, P1, P2, P3 : Plans de stratification, T : Talweg associé à une faille verticale supposée, X : Cavité inconnue.

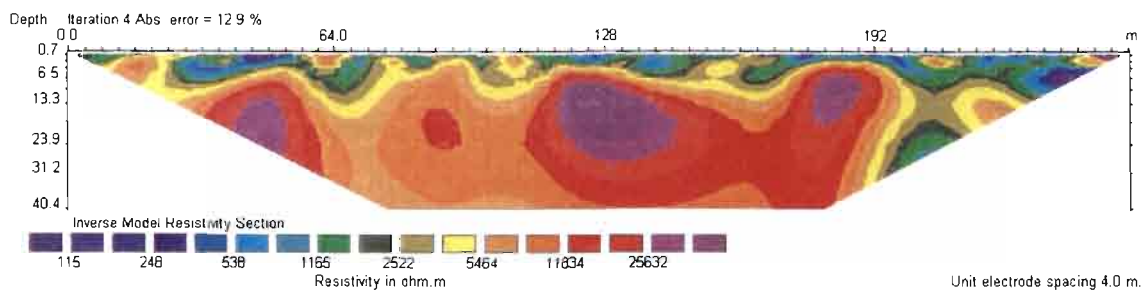


Figure 3 : Interprétation du profil 5 en dispositifs WENNER α et β .

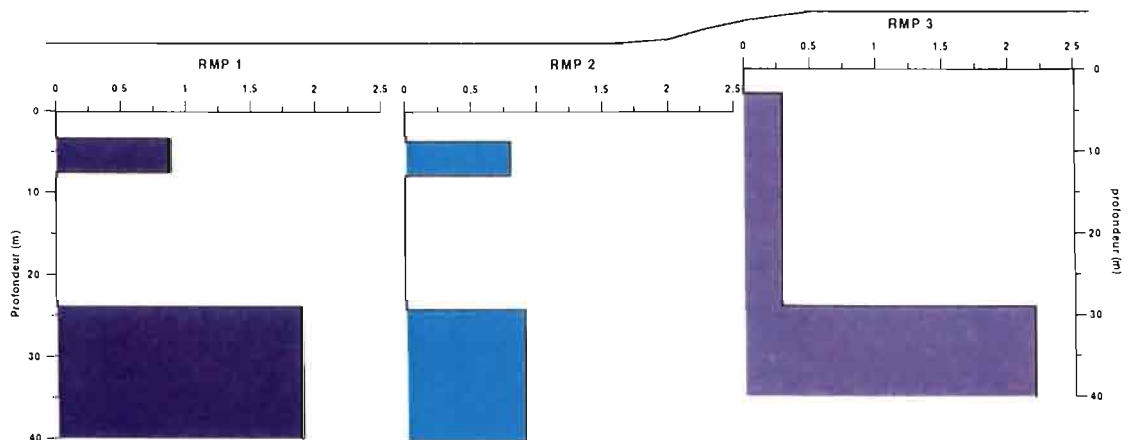


Figure 4 : Teneur en eau donnée par l'inversion des sondages RMP (1, 2 et 3).