

**DETERMINATION DU FONCTIONNEMENT HYDROGEOLOGIQUE D'UN
SITE KARSTIQUE PAR UN SUIVI TEMPOREL EN TOMOGRAPHIE DE
RESISTIVITE ELECTRIQUE – EPIKARST DE LA GROTTTE DE LASCAUX
VERDET C.¹, SIRIEIX C.¹, RISS J.¹**

¹ Université de Bordeaux, UMR CNRS 5295 - I2M, Pessac, France

RÉSUMÉ

La connaissance des infiltrations d'eau dans le milieu karstique est nécessaire à la conservation des grottes ornées telle que celle de Lascaux. Des arrivées d'eau dans la grotte, notamment dans la zone d'entrée, sont connues et suivies depuis de nombreuses années. Au moyen de quatre profils de tomographie de résistivité électrique (TRE) acquis en suivi temporel à l'amont hydraulique de l'émergence, l'organisation spatiale de l'épikarst a pu être mis en évidence, avec l'influence du couvert forestier. Une zone d'écoulement préférentiel de l'eau vers le SAS1 a également été identifiée.

Mots clés : Karst, tomographie de résistivité électrique, suivi temporel, écoulements, épikarst, infiltration.

ABSTRACT

**DETERMINING THE HYDROGEOLOGICAL FUNCTIONING OF A KARSTIC
SITE USING AN ERT MONITORING – LASCAUX CAVE EPIKARST**

Knowledge of the water infiltration path through the karst is needed to help the conservation of ornamented caves, such as the Lascaux cave. Water venue are well identified in the cave, principally one in the entrance (SAS1). An electrical resistivity tomography (ERT) monitoring at the upstream of the SAS1 emergence reveled the karstic spatial organization and the forest cover influence. A preferential flow zone to the SAS1 is also identified among the karst.

Key words : Karst, Electrical resistivity tomography, monitoring, flow, epikarst, infiltration.

1. INTRODUCTION

Le milieu karstique est un milieu dont l'organisation spatiale est complexe et hétérogène. Ce milieu peut être découpé en trois grandes parties : le sol pédologique, l'épikarst (zone d'infiltration diffuse) et la zone de transmission (drainage par percolation verticale). C'est dans cette dernière zone que l'essentiel de la grotte de Lascaux se développe. L'entrée de la grotte se situe dans l'épikarst. Une émergence épikarstique se développe à l'entrée, dans le SAS1, au plafond à la faveur du contact entre épikarst et zone de transmission comme montré par Xu et al. (2016).

La grotte de Lascaux est une grotte ornée dont les peintures rupestres sont datées d'entre -16 000 ±500 BP et -18 000 ±190 BP. Ces peintures sont sensibles à l'état hydrique de la grotte, à tout risque de pollution et aux précipitation/dissolution à la paroi. Il est donc nécessaire, dans un souci de conservation de caractériser le fonctionnement hydrogéologique du site. Plusieurs études hydrogéologiques ont été

effectuées par l'analyse des eaux de la grotte (Lopez, 2009) et un schéma de fonctionnement de l'émergence a pu en être déduit (Fig. 1).

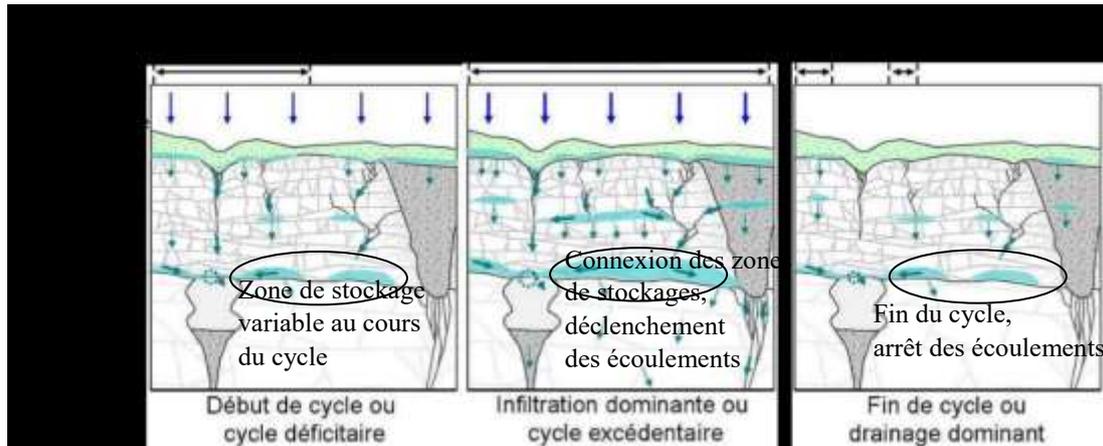


Fig. 1 - Schéma fonctionnel de l'émergence épikarstique du SAS1 de la grotte de La La distribution spatiale de chaque compartiment n'est quant à elle, pas connue. Le suivi temporel des mesures de tomographie de résistivité électrique (TRE) permet d'identifier les compartiments dans le massif (Watlet et al., 2018). Un premier suivi temporel de deux ans (Xu et al., 2017) a permis de poser les bases méthodologiques. L'étude a été étendue à six années. Les mesures ont permis de mieux comprendre le fonctionnement du massif et en particulier celles de l'émergence du SAS1. Nous développons ici la méthodologie et les résultats issus de ce suivi temporel.

2. MATERIEL ET METHODES

Quatre profils de mesure de TRE ont été implantés sur le site, en amont hydraulique de l'émergence du SAS1 de la grotte (Figure 2) : N50 et S50 de longueur 35,5 m et d'espacement interélectrode de 50 cm, N100 et S100 de longueur 71 m, d'espacement interélectrode 100 cm. Chacun de ces profils a fait l'objet de 50 à 53 mesures, composées de la concaténation des dispositifs gradient et pôle – dipôle (direct et inverse). Les données sont ensuite inversées avec le logiciel Res2DInv, et la température corrigée pour ramener les résistivités à une température de référence de 12,6 °C.

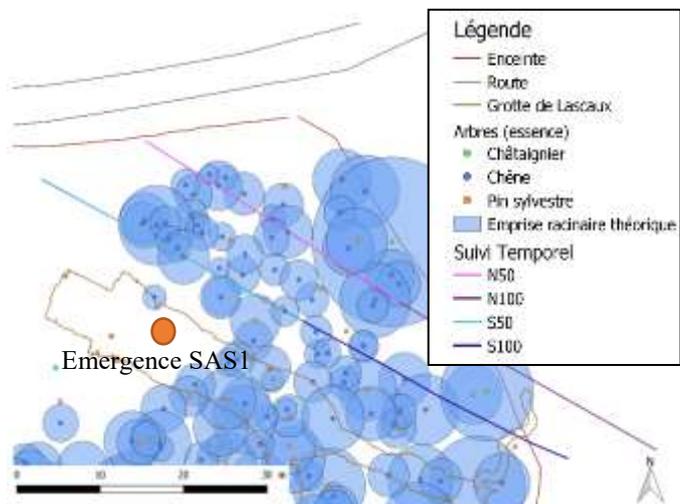


Figure 2 : Plan de la partie nord de la grotte de Lascaux et implantation des quatre profils de TRE.

Une classification hiérarchique ascendante (CHA) permettant de synthétiser la cinquantaine de mesures par profil a ensuite été réalisée. Cette méthode permet de regrouper entre eux les blocs d'inversion ayant une résistivité et un comportement au

cours du temps, similaires. Cette analyse est réalisée sur des données centrées et réduites afin de réduire la contribution des variables à forte variance sur l'analyse. Des classes de blocs sont ainsi créées, et leur médiane analysée et comparée aux mesures de débit dans le SAS1 et à celles des pluies efficaces (= pluie brute – évapotranspiration).

3. RESULTATS

La CHA a permis de créer sept classes pour le profil S50 (Figure 3). Les classes 1 à 4, superficielles, présentent des variations au cours du temps synchrones à celles des pluies efficaces. La variation de la classe 4 montre la plus grande amplitude (300 à 850 $\Omega \cdot m$), contre 160 à 400 $\Omega \cdot m$ pour la classe 1, 140 à 240 $\Omega \cdot m$ pour la classe 2 et 110 à 190 $\Omega \cdot m$ pour la classe 3. Ces classes ont une amplitude décroissante et une résistivité plus faible avec la profondeur, à l'exception de la classe 4. Ceci irait dans le sens d'une variation de la teneur en eau du terrain au cours du temps plus importante proche de la surface qu'en profondeur. La grande variabilité de la classe 4 s'explique par la présence des arbres, dont l'emprise racinaire est localisée au-dessus des blocs de cette classe (Figure 3). Une étude du flux de sève des chênes, majoritaires sur cette zone (Domec, 2017), montre qu'ils ne pompent presque pas d'eau en hiver (de novembre à mai) et qu'ils reprennent un pompage important l'été. Cela explique donc la très forte et brutale augmentation de la résistivité de la classe 4 durant les mois d'été, dûe à un déficit en eau important. La TRE montre que l'essentiel de cet effet se fait entre 1 et 2 m de profondeur.

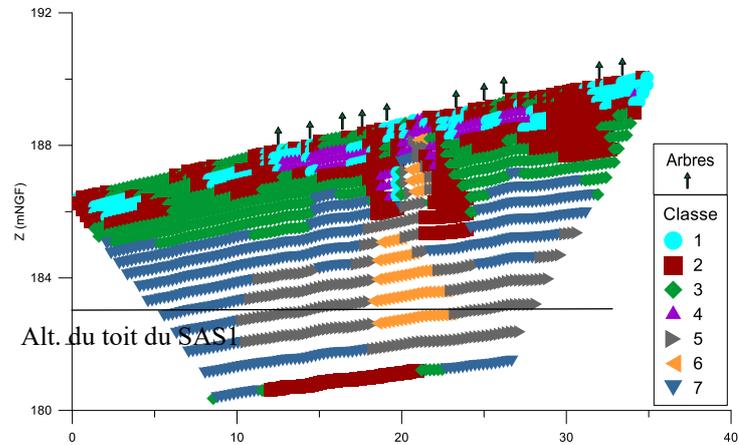


Figure 3 : Répartition des blocs tenant compte des résultats de la CHA du profil S50. La position des arbres sur le profil est donnée.

Ces classes ont une amplitude décroissante et une résistivité plus faible avec la profondeur, à l'exception de la classe 4. Ceci irait dans le sens d'une variation de la teneur en eau du terrain au cours du temps plus importante proche de la surface qu'en profondeur. La grande variabilité de la classe 4 s'explique par la présence des arbres, dont l'emprise racinaire est localisée au-dessus des blocs de cette classe (Figure 3). Une étude du flux de sève des chênes, majoritaires sur cette zone (Domec, 2017), montre qu'ils ne pompent presque pas d'eau en hiver (de novembre à mai) et qu'ils reprennent un pompage important l'été. Cela explique donc la très forte et brutale augmentation de la résistivité de la classe 4 durant les mois d'été, dûe à un déficit en eau important. La TRE montre que l'essentiel de cet effet se fait entre 1 et 2 m de profondeur.

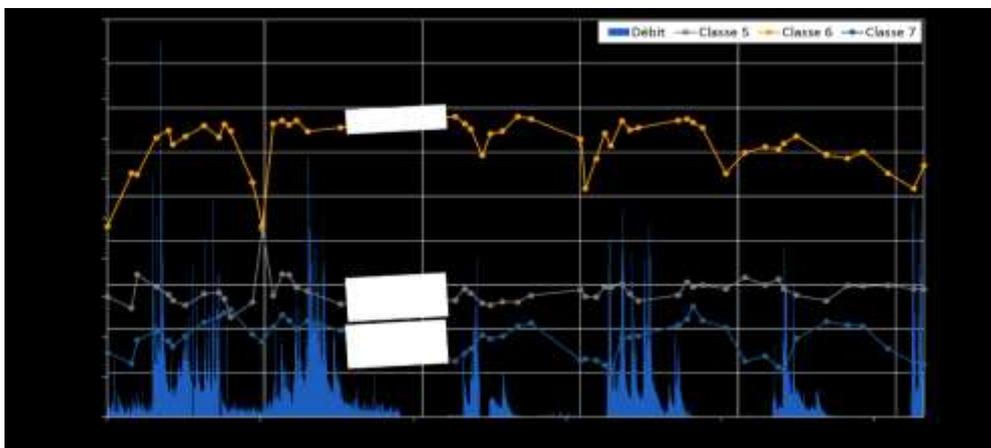


Figure 4 : Résistivité médiane au cours du temps des classes 5, 6 et 7. Le débit mesuré dans le SAS1 est représenté en bleu.

Les classes 5, 6 et 7, plus en profondeur, présentent des variations de résistivité synchrones de celles du débit dans le SAS1 (Figure 4). La classe 6 est celle dont les variations de résistivité médiane sont les plus proches de celles du débit au cours du temps, avec une variation entre 45 et 90 $\Omega \cdot m$. Cette classe réagissant comme le débit et avec une faible résistivité est vraisemblablement constituée d'un matériau plus poreux. Il pourrait s'agir d'un calcaire plus altéré/fracturé que les calcaires environnants ou même d'une poche de fantômisation servant de zone de transfert de l'eau vers le SAS1. La classe 5, plus résistive, présente une augmentation de la résistivité immédiatement après la reprise des écoulements dans le SAS1, puis une diminution progressive après l'arrêt des écoulements. Il peut s'agir d'une zone de stockage de l'eau dont le seuil de percolation une fois atteint déclenche des transferts vers la classe 6 puis les écoulements dans le SAS1. La classe 7, enfin, présente de très faibles variations au cours du temps, autour de 120 $\Omega \cdot m$. Il pourrait s'agir d'un banc calcaire marneux mentionné par Schoeller et Vouvé (cf. Lopez, 2009).

Enfin, nous remarquons en bas du profil plusieurs blocs appartenant à la classe 2. Il s'agit en réalité du calcaire compact tel qu'identifié sur le modèle géostatistique 3D par Xu et al. (2016), appartenant à la zone de transmission.

L'étude des trois autres profils montre des classes et comportements similaires, avec une zone préférentielle d'écoulement de l'eau dans le massif vers le SAS1.

4. CONCLUSION

A partir de l'étude du suivi temporel des quatre profils de TRE (Figure 2), nous pouvons déduire une organisation du karst et des zones d'écoulement préférentiel déterminant l'écoulement à l'émergence du SAS1. Les zones de stockages identifiées dans l'épikarst au contact de la zone de transmission (Fig. 1) sont ainsi localisées spatialement sur le site de Lascaux. La classe 6 est ainsi définie comme une zone de transfert et la classe 5 comme une zone de stockage. L'effet des chênes a aussi pu être montré au droit de la classe 4, entre 1 et 2 m de profondeur correspondant aux racines de chênes.

5. REMERCIEMENTS

Nous remercions la DRAC Aquitaine pour son soutien financier et sa collaboration. Nous remercions également MM. Jean-Christophe Domec et Stéphane Perrin pour l'apport de leur connaissance et l'étude des arbres environnant la grotte ; Fabien Naessens et Sylvain Mateo pour leur aide sur le terrain.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

DOMEC, J.-C., 2017 - Mesure des flux de sèves des espèces ligneuses principales situées sur le toit de la grotte de Lascaux et détermination de la transpiration potentielle du site. *Bordeaux Sciences Agro*.

LOPEZ, B., 2009 - Les processus de transfert d'eau et de dioxyde de carbone dans l'épikarst. *Thèse. University of Bordeaux*.

WATLET, A., KAUFMANN, O., TRIANTAFYLLOU, A., POULAIN, A., CHAMBERS, J.E., MELDRUM, P.I., WILKINSON, P.B., HALLET, V., QUINIF, Y., VAN RUYMBEKE, M., VAN CAMP, M., 2018 - Imaging groundwater infiltration dynamics in the karst vadose zone with long-term ERT monitoring. *Hydrol. Earth Syst. Sci.* 22, 1563–1592. .

XU, S., SIRIEIX, C., MARACHE, A., RISS, J., MALAURENT, P., 2016 - 3D geostatistical modeling of Lascaux hill from ERT data. *Eng. Geol.* 213, 169–178.

XU, S., SIRIEIX, C., RISS, J., MALAURENT, P., 2017 - A clustering approach applied to Time-Lapse ERT interpretation - case study of Lascaux Cave. *J. Appl. Geophys.*