

GROTTE DE BRUNIQUÉL (BRUNIQUÉL, TARN-ET-GARONNE)

82026019AP

RAPPORT D'OPÉRATION ARCHÉOLOGIQUE PROGRAMMÉE 2016

DEMANDE D'OPÉRATION ARCHÉOLOGIQUE ANNUELLE 2017

JACQUES JAUBERT (DIR., PORTEUR DE PROJET)
SOPHIE VERHEYDEN (DIR.)
ET
DOMINIQUE GENTY, MICHEL SOULIER



2 JUNE 2016 | VOL 534 | NATURE | 111

nature publishing group 

LETTER

doi:10.1038/nature18291

Early Neanderthal constructions deep in Bruniquel Cave in southwestern France

Jacques Jaubert^{1*}, Sophie Verheyden^{2,3*}, Dominique Genty^{4*}, Michel Soulier⁵, Hai Cheng^{6,7}, Dominique Blamart⁴, Christian Buret², Hubert Camus⁸, Serge Delaby⁹, Damien Deldicque¹⁰, R. Lawrence Edwards¹, Catherine Ferrier¹, François Lacrampe-Cuyaubère^{11,12}, François Lévêque¹³, Frédéric Maksud¹⁴, Pascal Mora¹⁵, Xavier Muth¹², Édouard Régnier⁴, Jean-Noël Rouzaud¹⁰ & Frédéric Santos¹

¹PACEA, UMR 5199 CNRS-UB-MCC University of Bordeaux, 33615 Pessac, France. ²Earth & History of Life, Royal Belgian Institute of Natural Sciences, 1000 Brussels, Belgium. ³AMGC, Vrije Universiteit Brussel, 1050 Brussels, Belgium. ⁴LSCE, UMR 8212 CNRS-CEA-UVSQ, 91400 Gif-sur-Yvette, France. ⁵Société spéléologique et archéologique de Caussade, 5 rue Bourdelle 82300 Caussade, France. ⁶Institute of Global Environmental Change, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China. ⁷Earth Sciences, University of Minnesota, Minneapolis, Minnesota 55455, USA. ⁸Protée Expert Sais, 30250 Sormières, France. ⁹Faculté Polytechnique, University of Mons, 7000-Mons, Belgium. ¹⁰Laboratoire de Géologie de l'École Normale Supérieure de Paris (ENS), UMR CNRS 8538, 75000 Paris, France. ¹¹Archéosphère, 11500 Quiréjou, France. ¹²Cot in Situ, 1091 Bourg-en-Lavaux, Switzerland. ¹³LENS, UMR 7265 CNRS-University of La Rochelle, 17000 La Rochelle, France. ¹⁴Ministry of Culture, Regional Archaeological Service of Midi-Pyrénées, 31080 Toulouse, France. ¹⁵Archéostratfert, Archéovision, UMS 3657 SHS-3D, 33007 Pessac, France. *These authors contributed equally to this work.

SUPPLEMENTARY INFORMATION

doi:10.1038/nature18291

Supplementary Methods (SM)



Contributions, collaboration de

AXEL BELLIVIER ■ DOMINIQUE BLAMART ■ FRANÇOIS BOURGES ■ CHRISTIAN BURLET ■ HUBERT CAMUS ■ HAI CHENG ■ SERGE DELABY ■ FABIEN DEWILDE ■ R. LAWRENCE EDWARDS ■ LUC-HENRI FAGE ■ CATHERINE FERRIER ■ DELPHINE LACANETTE ■ FRANÇOIS LACRAMPE-CUYAUBÈRE ■ JEAN-CLAUDE LEBLANC ■ THOMAS LECOCQ ■ FRANÇOIS LÉVÊQUE ■ FRÉDÉRIC MAKSUD ■ BENOÎT MARTINEZ ■ JEAN-CHRISTOPHE MINDEGUIA ■ BÉNÉDICTE MISTER ■ PASCAL MORA ■ XAVIER MUTH ■ ÉDOUARD RÉGNIER ■ YVES VANBRABANT ■ KOEN VAN NOTEN ■



SOMMAIRE

REMERCIEMENTS	6
CHAPITRE 1 ■ RAPPELS, HISTORIQUE, PRÉSENTATION GÉNÉRALE <i>Jacques JAUBERT, Michel SOULIER et Sophie VERHEYDEN</i>	9
CHAPITRE 2 ■ LA CAMPAGNE 2016 : RAPPEL DES OBJECTIFS, ADMINISTRATION, MOYENS MIS EN ŒUVRE, CHRONIQUE DES TRAVAUX EFFECTUÉS <i>Jacques JAUBERT et Sophie VERHEYDEN</i>	23
CHAPITRE 3 ■ SUIVI ENVIRONNEMENTAL 2016 DE LA GROTTÉ DE BRUNIQUEL <i>François BOURGES, Christian BURLET, Dominique GENTY, Sophie VERHEYDEN, Édouard REGNIER, Serge DELABY, Yves VANBRABANT et Bénédicte MISTER</i>	37
CHAPITRE 4 ■ ÉQUIPEMENTS DANS LA GROTTÉ DE BRUNIQUEL <i>Michel SOULIER</i>	53
CHAPITRE 5 ■ LEVÉ TOPOGRAPHIQUE DE LA GROTTÉ DE BRUNIQUEL, CAMPAGNE 2016 <i>Hubert CAMUS et Xavier MUTH</i>	61
CHAPITRE 6 ■ COMPLÉMENT DE BALISAGE ET EXPERTISE ENTRE LA SALLE DE LA STRUCTURE ET LE FOND DE LA CAVITÉ <i>Michel SOULIER et Frédéric MAKSUD</i>	101
CHAPITRE 7 ■ L'ÉBOULIS D'ENTRÉE DE LA GROTTÉ DE BRUNIQUEL <i>Sophie VERHEYDEN, Dominique GENTY, Serge DELABY, Hubert CAMUS, Jacques JAUBERT, Hai CHENG, Lawrence EDWARDS et Édouard RÉGNIER</i>	107
CHAPITRE 8 ■ PRÉLÈVEMENT DE FRAGMENTS CARBONISÉS AU BAS DE L'ÉBOULIS, SALLE DES BAUGES <i>Dominique GENTY, Jacques JAUBERT et Michel SOULIER</i>	117
CHAPITRE 9 ■ RETOUR VIRTUEL DANS LA GROTTÉ VIA LA PRÉFIGURATION D'UN ATLAS DES STRUCTURES <i>Jacques JAUBERT, François LACRAMPE-CUYAUBÈRE, Frédéric MAKSUD, Xavier MUTH, Michel SOULIER et Sophie VERHEYDEN</i>	123
CHAPITRE 10 ■ DATATIONS ADDITIONNELLES DES CAROTTES DE CALCITE ISSUES DES STRUCTURES ET DU PLANCHER STALAGMITIQUE P13 <i>Sophie VERHEYDEN, Dominique GENTY, Hai CHENG, Lawrence EDWARDS, Édouard RÉGNIER et Serge DELABY</i>	157

CHAPITRE 11 ■ ANALYSES ISOTOPIQUES DES CAROTTES DE CALCITE ISSUES DES STRUCTURES DE LA GROTTÉ DE BRUNIQUEL <i>Dominique GENTY, Sophie VERHEYDEN, Dominique BLAMART, Fabien DEWILDE, Édouard RÉGNIER, Hai CHENG et Jacques JAUBERT.</i>	165
CHAPITRE 12 ■ PROSPECTION MAGNÉTIQUE DE LA SALLE DE LA STRUCTURE: COMPLÉMENTS AUX PREMIERS TRAVAUX DE 2015 <i>François LÉVÊQUE.</i>	171
CHAPITRE 13 ■ ÉTUDE GÉOARCHÉOLOGIQUE DE LA GROTTÉ DE BRUNIQUEL <i>Catherine Ferrier, Axel Bellivier, Delphine Lacanette, Jean-Claude Leblanc et Jean-Christophe Mindeguia</i>	177
CHAPITRE 14 ■ LA GROTTÉ DE BRUNIQUEL: PUBLICATIONS, MÉDIATISATION 2016 <i>Jacques JAUBERT, Sophie VERHEYDEN, Dominique GENTY et Michel SOULIER.</i>	187
CHAPITRE 15 ■ LE CERCLE DE PIERRE DE NÉANDERTAL: UN PROJET DE FILM DOCUMENTAIRE SCIENTIFIQUE DE 52 MINUTES POUR ARTE <i>Luc-Henri FAGE.</i>	203
CHAPITRE 16 ■ GROTTÉ DE BRUNIQUEL 2017. INVESTIGATIONS GÉOPHYSIQUES <i>Serge DELABY, Thomas LECOCQ, Koen VAN NOTEN, Christian BURLET et Sophie VERHEYDEN</i>	209
CHAPITRE 17 ■ GROTTÉ DE BRUNIQUEL: BILAN 2016, PROGRAMME 2017 <i>Jacques JAUBERT et Sophie VERHEYDEN.</i>	213
 ANNEXES <hr/>	
ANNEXE 1 ■ COMMUNIQUÉ DE PRESSE A. AZOULAY – T. MANDON	223
ANNEXE 2 ■ COMPTE-RENDU DE RÉUNION « PROJET DE FAC-SIMILÉ DES STRUCTURES DE LA GROTTÉ DE BRUNIQUEL. DÉCLARATION D'INTENTION. OCTOBRE 2016 »	226
ANNEXE 3 ■ PUBLICATIONS.	230
ANNEXE 3 ■ FICHE MASTER BIO-GÉOSCIENCES - PROPOSITION DE SUJET M2 (C. FERRIER, J.-CH. MINDEGUIA, Y. ANGUY).	269

GROTTE DE BRUNIQUEL 2017. INVESTIGATIONS GÉOPHYSIQUES

SERGE DELABY¹

THOMAS LECOCQ²

KOEN VAN NOTEN²

CHRISTIAN BURLET¹

SOPHIE VERHEYDEN¹

¹ Institut Royal des Sciences Naturelles de Belgique, OD.

Terre et Histoire de la Vie, Bruxelles

² Observatoire Royal de Belgique, Département de séismologie, Bruxelles

L'objectif de cette étude est d'appréhender l'épaisseur du remplissage sédimentaire présent entre le plancher stalagmitique et l'encaissant calcaire au niveau de la Salle de la structure. Des informations supplémentaires comme la nature des dépôts et leur distribution spatiale seront également recherchés. Nous proposons, en collaboration avec l'Observatoire Royal de Belgique, deux méthodes d'investigation géophysiques pour cette étude : la tomographie électrique et la méthode HVSR. Les résultats de ces deux méthodes seront ensuite corrélés pour caractériser l'épaisseur du remplissage. On trouvera un exemple d'application de ces méthodes en milieu karstique *in* Nehme *et al.*, 2013).

1. TOMOGRAPHIE EN RÉSISTIVITÉ ÉLECTRIQUE (ERT)

■ La tomographie électrique est une méthode non invasive d'exploration du sous-sol qui repose sur la mesure de sa résistivité électrique (exprimée en Ωm). Celle-ci représente la capacité du sous-sol à s'opposer à la circulation du courant électrique (l'inverse = conductivité) : sa connaissance permet d'appréhender la lithologie et la structure du sous-sol. L'injection d'un courant d'intensité connue et la mesure de la distribution du potentiel électrique nous donnent une estimation de la résistivité apparente (ρ_a) du sous-sol. Un profil de mesures de la résistivité du sol basé sur un set d'électrodes (typiquement de 32 à 64 électrodes par profil) permet d'obtenir une image 2D des contrastes de résistivité en profondeur (*fig. 113*). Cette méthode devrait donc permettre de préciser la profondeur des sédiments au droit du profil.

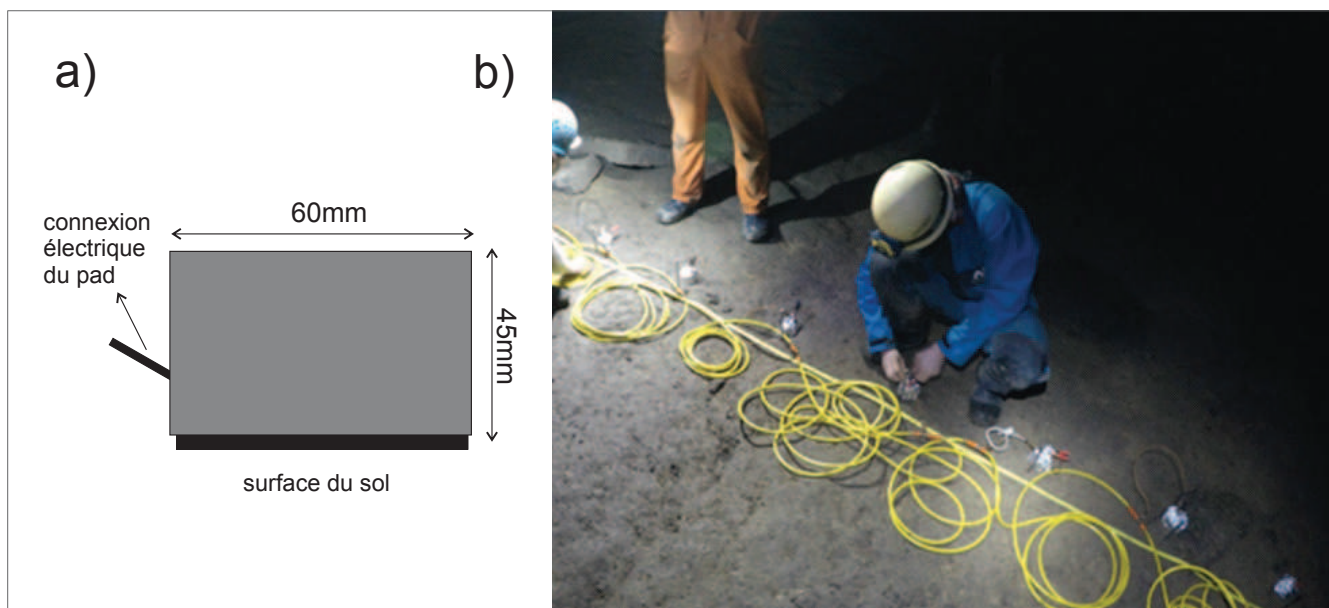


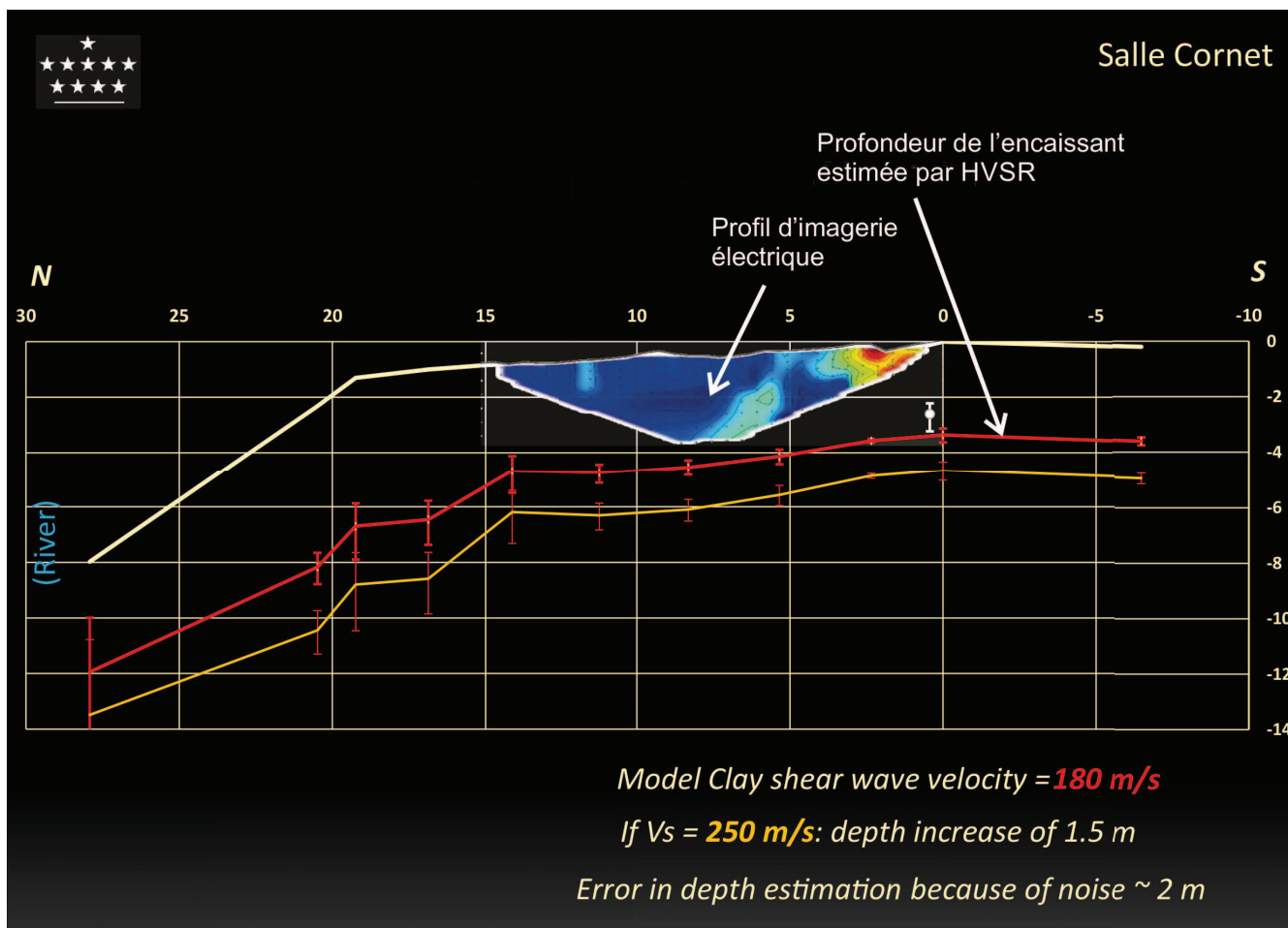
Fig. 112 ■ a) Vue en coupe d'une électrode de type pad conducteur. b) Exemple d'installation de tomographie électrique dans la grotte de han (les câbles utilisés dans la salle de la structure seront plus courts que lors de ce test).

Afin d'éviter toute dégradation du sol de la Salle de la structure, la tomographie électrique se fera au moyen de pads conducteurs posés au sol (6 cm de diamètre, poids < 300 g) (**fig. 112**) spécialement conçus pour cette étude ainsi que de câbles adaptés à l'espacement des pads. Afin de valider le système en grotte, des essais concluants ont eu lieu en 2016 dans la salle Cornet de la Grotte de Han (Belgique), qui présente une configuration probablement comparable à la grotte de Bruniquel. Les résultats de cette simulation (**fig. 113**) démontrent l'applicabilité des pads conducteurs pour l'imagerie électrique en milieu souterrain, avec des mesures comparables aux électrodes pénétrantes habituellement utilisées. Ce dispositif pourra donc être employé à Bruniquel.

1.1 STRATÉGIE D'INVESTIGATION POUR LES MESURES DE TOMOGRAPHIE ÉLECTRIQUE

■ Des profils de mesures seront réalisés, dans la mesure du possible, perpendiculairement à l'axe de la galerie (N/S) qui, au niveau de la structure, s'élargit à 25 m en moyenne et exceptionnellement à 35 m (alcôve). Un profil complémentaire est aussi prévu au niveau du cheminement, dans l'axe de la galerie.

L'espacement prévu entre les pads conducteurs est de 50 cm, pour des longueurs de profils utilisant entre 32 et 64 pads en fonction de l'espace disponible (les profils devant être les plus rectilignes possible). La profondeur d'investigation effective attendue pour ces mesures est de 5 à 8 m.



2. RAPPORT SPECTRAUX HORIZONTALS SUR VERTICAUX DU BRUIT SISMIQUE (HVSR)

■ Cette seconde méthode d'investigation consiste à estimer la fréquence propre de résonance d'un site en effectuant le rapport (moyenne des composantes horizontales sur composantes verticales) des amplitudes spectrales du bruit sismique enregistré. Schématiquement, la fréquence F_0 d'une couche d'épaisseur h avec une vitesse d'ondes de cisaillement V_s surmontant un substratum rocheux est relié par l'équation $F_0 = V_s/4h$.

La méthode HVSR nécessite l'utilisation d'un ou plusieurs sismomètres au sol pour mesurer de bruit sismique ambiant, pendant une période minimale de 15 minutes. Cette technique, également testée à la grotte de Han, se révèle excellente pour estimer la profondeur de l'encaissant calcaire sous les dépôts sédimentaires et cela même au travers d'un plancher stalagmitique. Elle est sensible au bruit ambiant ce qui impose le recourt à un personnel minimum et particulièrement calme. L'utilisation d'un réseau de sismomètre (plusieurs appareils synchronisés) réduit encore l'incertitude sur la vitesse V_s du remplissage.

Fig. 113 ■ Synthèse préliminaire des résultats comparés de la tomographie électrique du HVSR à la salle Cornet (Grotte de Han). Crédit: Thomas Lecocq et Koen van Noten.

3. MÉTHODES GÉOPHYSIQUES COMPLÉMENTAIRES APPLICABLES À L'INVESTIGATION DU PLANCHER STALAGMITIQUE DE LA SALLE DE LA STRUCTURE

■ Des techniques de cartographie radar (GPR haute résolution) ou ultrasons (échographie multicanaux) pourraient également être testées pour évaluer l'épaisseur (et la forme) de la surface inférieure du plancher stalagmitique de la Salle de la structure, à une échelle centimétrique (par rapport à la résolution métrique des méthodes décrites ci-dessus). Ces méthodes sont totalement non invasives et leur applicabilité à l'investigation du plancher sera évaluée en 2017.

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

■ C. NEHME, C. VOISIN, A. MARISCAL, P. GÉRARD, C. CORNOU, B. JABBOUR-GÉDÉON, *et al.* 2013. The use of passive seismological imaging in speleogenetic studies: an example from Kanaan Cave, Lebanon. *International Journal of Speleology*, 42 (2013), 97–108.