



HAL
open science

La Cueva de Gargas (Hautes-Pyrénées, Francia): contribución de la documentación 3D al estudio y la conservación de una cavidad con arte parietal.

Pascal Foucher, Cristina San Juan-Foucher, Jorge Angás

► **To cite this version:**

Pascal Foucher, Cristina San Juan-Foucher, Jorge Angás. La Cueva de Gargas (Hautes-Pyrénées, Francia): contribución de la documentación 3D al estudio y la conservación de una cavidad con arte parietal.. DOCUMENTACIÓN Y CONSERVACIÓN DEL ARTE RUPESTRE: Artes prehistóricas y perspectivas presentes, Jorge Angás; Manuel Bea; M^a Nieves Juste, Sep 2023, Huesca, España. pp.67-80. <hal-04854734>

HAL Id: hal-04854734

<https://hal.science/hal-04854734v1>

Submitted on 6 Jan 2025

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire HAL, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

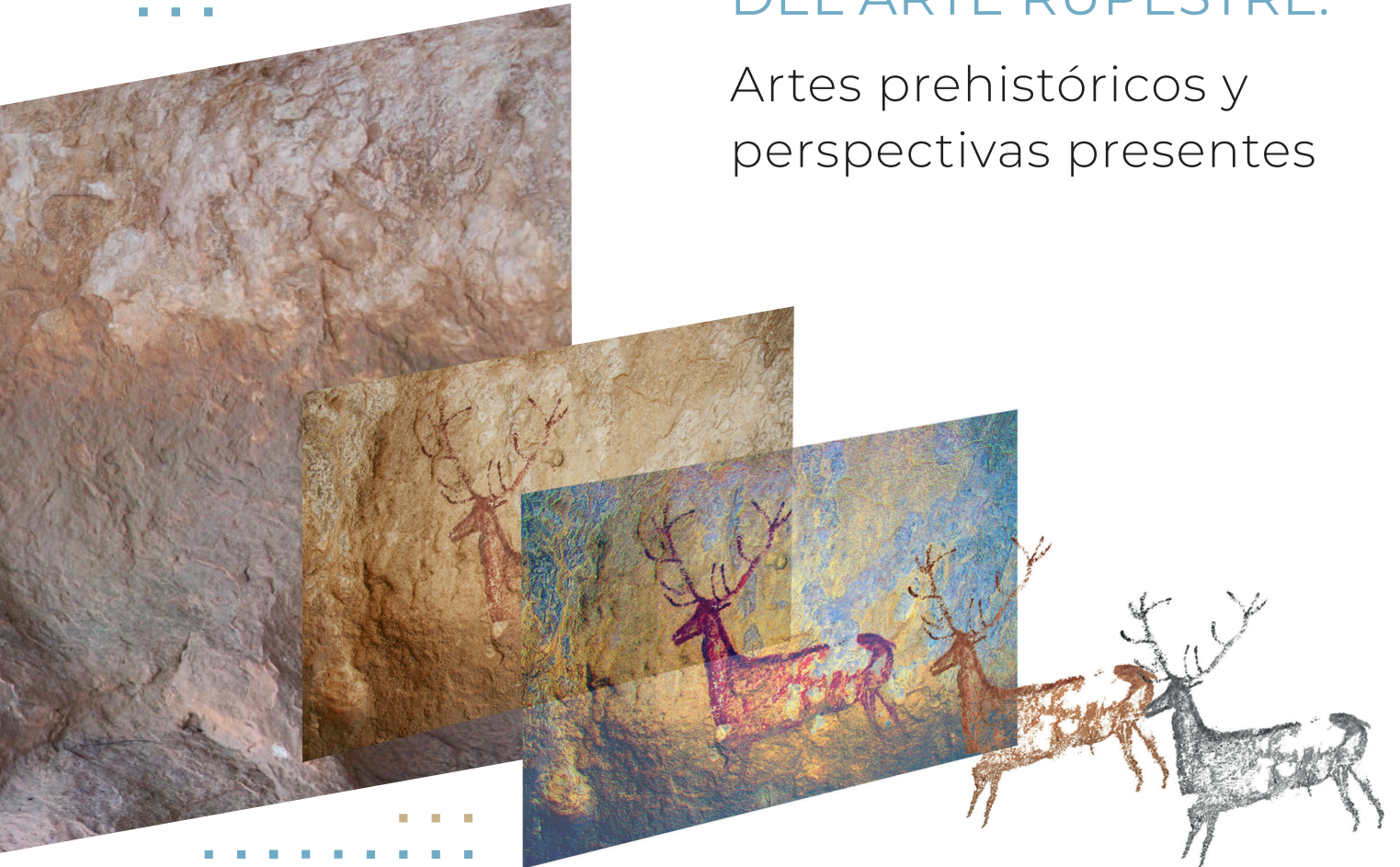


HAL Authorization




DOCUMENTACIÓN Y CONSERVACIÓN DEL ARTE RUPESTRE:

Artes prehistóricas y
perspectivas presentes



Actas del Seminario Internacional
celebrado en UIMP-Pirineos (Huesca)
y en el Parque Cultural del Río Vero

21 al 23 de septiembre de 2022



Jorge Angás
Manuel Bea
M^º Nieves Juste
(Eds.)



Organización
de las Naciones Unidas
para la Educación,
la Ciencia y la Cultura



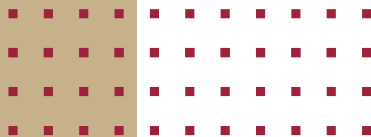
Arte rupestre del arco mediterráneo
de la Península Ibérica
inscrito en la Lista del
Patrimonio Mundial en 1998

DOCUMENTACIÓN Y CONSERVACIÓN DEL ARTE RUPESTRE:

Artes prehistóricas y
perspectivas presentes

Actas del Seminario Internacional
celebrado en UIMP-Pirineos (Huesca)
y en el Parque Cultural del Río Vero

21 al 23 de septiembre de 2022



Seminario Internacional. Documentación y Conservación del Arte Rupestre: Artes prehistóricas y perspectivas presentes

Dirección: Jorge Angás y Manuel Bea.

Organización del Seminario Internacional: Universidad Internacional Menéndez Pelayo, Comité Científico Nacional de Arte Rupestre de ICOMOS-España (CCNAR) y Universidad de Zaragoza.

Financiación del Seminario: Universidad Internacional Menéndez Pelayo, ICOMOS-España, Comarca de Somontano de Barbastro, Parque Cultural del Río Vero.

Publicación de las Actas del Seminario

EDITA:

Comarca de Somontano de Barbastro.

EDICIÓN CIENTÍFICA:

Jorge Angás, Manuel Bea y M^a Nieves Juste.

COORDINACIÓN TÉCNICA DE LA EDICIÓN:

- Universidad de Zaragoza: Manuel Bea.
- ARAID-Universidad de Zaragoza: Jorge Angás.
- Comarca de Somontano de Barbastro: M^a Nieves Juste Arruga y Pilar Lisa Subías.

PROMUEVE /FINANCIA:

- Ministerio de Cultura y Deporte.
- Comarca de Somontano de Barbastro.
- Universidad de Zaragoza: Instituto de Investigación en Patrimonio y Humanidades (IPH).
- Fundación Agencia Aragonesa para la Investigación y Desarrollo (ARAID).

COLABORA:

- Parque Cultural del Río Vero.
- Grupo de Investigación "Primeros Pobladores y Patrimonio Arqueológico del Valle del Ebro" (P3A).
- Universidad Internacional Menéndez Pelayo.
- ICOMOS Comité Nacional Español.

ISBN: 978-84-09-61314-4

Depósito legal: HU-146-2024

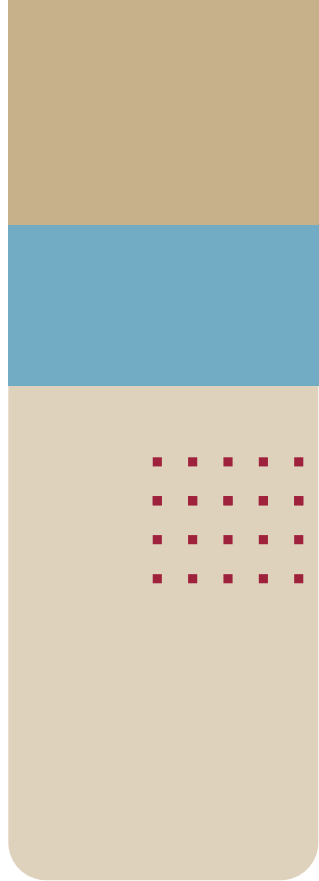
DISEÑO, MAQUETACIÓN E IMPRESIÓN:

Gráficas Barbastro, S. L.

© De los textos, fotos e ilustraciones: sus autores

© De la edición: Comarca de Somontano de Barbastro

Esta publicación se ha realizado con una ayuda del Ministerio de Cultura y Deporte en la convocatoria de "Ayudas para proyectos de conservación, protección y difusión de bienes declarados Patrimonio Mundial" 2023.



ÍNDICE

PRESENTACIONES

ISAAC SASTRE DE DIEGO

Director General de Patrimonio Cultural y Bellas Artes 9

SAÚL PÉREZ LACASA

Presidente de la Comarca de Somontano de Barbastro 11

CONCEPCIÓN LOMBA SERRANO

Catedrática de Historia del Arte y directora del Instituto
de Investigación en Patrimonio y Humanidades,
Universidad de Zaragoza 13

INTRODUCCIÓN

MANUEL BEA MARTÍNEZ,

JORGE ANGÁS PAJAS,

M^a NIEVES JUSTE ARRUGA 15

CRISTINA LAFUENTE MARTÍNEZ

Arte rupestre: primera manifestación de la humanidad 19

*MANUEL BEA MARTÍNEZ,
JORGE ANGÁS PAJAS*

Metodologías asumidas.
Retrospectiva de las “novedades digitales” 35

INÉS DOMINGO SANZ

La documentación del arte rupestre más allá de lo gráfico.
Información Etnográfica 47

*PASCAL FOUCHER,
CRISTINA SAN JUAN-FOUCHER,
JORGE ANGÁS PAJAS*

La Cueva de Gargas (Hautes-Pyrénées, Francia):
contribución de la documentación 3D al estudio y la conservación
de una cavidad con arte parietal 67

JOSÉ MANUEL REY GARCÍA

La gestión integrada de los grabados rupestres al aire libre:
experiencias inspiradoras en Europa 81

ANGELO EUGENIO FOSSATI

L'arte rupestre nelle Montagne dell'Al-Hajar, Penisola Arabica.
Temì, cronologia, interpretazione 103

JOSÉ JAVIER FERNÁNDEZ MORENO

El Paleolítico superior en la Cuenca del Duero
a partir del reconocimiento del Arte Paleolítico al aire libre 115

PILAR FATÁS MONFORTE

Pasado, presente y futuro de la gestión de la Cueva de Altamira 135

DANIEL GARRIDO PIMENTEL

La gestión en enclaves con arte rupestre Paleolítico.
La red de cuevas prehistóricas de Cantabria 151

HIPÓLITO COLLADO GIRALDO

La Cueva de Maltravieso,
un nuevo análisis de sus representaciones de manos
desde la óptica investigadora del siglo XXI 167

JULIÁN MARTÍNEZ GARCÍA

Diagnóstico operativo para una gestión integral del arte rupestre
en Andalucía 183

*M^a ANTONIA ZALBIDEA MUÑOZ,
CLAUDIA SERRANO ARANDA,
ÁNGEL PERLES IVARS*

Investigar y analizar como paso necesario a la intervención
en arte rupestre al aire libre 199

FERNANDO CARRERA RAMÍREZ

Experiencias en conservación de arte prehistórico:
¿qué hemos aprendido? 219

ANA YÁÑEZ VEGA

Aspectos jurídicos de la protección del arte rupestre 233

M^a NIEVES JUSTE ARRUGA

La gestión del arte rupestre
en el Parque Cultural del Río Vero (Huesca) 247



PASCAL FOUCHER¹
CRISTINA SAN JUAN-FOUCHER²
JORGE ANGÁS³

La Cueva de Gargas
(Hautes-Pyrénées, Francia):
contribución de la documentación
3D al estudio y la conservación de
una cavidad con arte parietal.

*The Cave of Gargas (Hautes-Pyrénées, France):
Contribution of 3D Documentation to the Study
and Conservation of a Cavern with Parietal Art.*

¹Service régional de l'archéologie d'Occitanie, 32 rue de la Dalbade BP 811, 31080 TOULOUSE cedex 6 et TRACES-UMR 5608-Université de Toulouse Jean Jaurès. pascal.foucher@culture.gouv.fr

²Service régional de l'archéologie d'Occitanie, 32 rue de la Dalbade BP 811, 31080 TOULOUSE cedex 6 et TRACES-UMR 5608-Université de Toulouse Jean Jaurès. cristina.san-juan@culture.gouv.fr

³ARAID-Universidad de Zaragoza. Departamento de Ciencias de la Antigüedad. IPH, P3A. j.angas@unizar.es

RESUMEN

La cueva de Gargas es una cavidad de referencia para el periodo gravetiense europeo por su excepcional arte rupestre y la riqueza de su yacimiento arqueológico, que ya había atraído la atención de los prehistoriadores entre finales del siglo XIX y principios del XX.

Tras casi un siglo de interrupción de las intervenciones arqueológicas de terreno (excavaciones realizadas en 1911 y 1913 por E. Cartailhac y H. Breuil), se inició en 2004 un nuevo proyecto de investigación. El programa se basaba en una problemática global que incluía la revisión de las antiguas colecciones, la evaluación del potencial arqueológico conservado y la localización de posibles testigos del relleno de origen, así como un estudio de la cavidad que tuviera en cuenta de forma integrada la doble vertiente de cueva decorada y de hábitat prehistórico. El objetivo era comprender mejor las características funcionales, espaciales y cronológicas del uso del yacimiento por parte de los autores de las pinturas rupestres.

En este enfoque global, nos pareció evidente integrar, a partir de 2009, la herramienta digital para multiplicar las capacidades documentales de los estudios y responder a cuestiones que las metodologías más tradicionales no pueden resolver. Se presentarán aquí varios ejemplos en relación con el contexto crono-estratigráfico de las excavaciones, tanto a escala del yacimiento (planos, secciones, ilustraciones, etc.) como su aplicación al estudio de los restos hallados (examen de una mandíbula humana por medio de microtomografía). Asimismo, trataremos la problemática del uso de la información 3D para fines de conservación y de gestión de datos.

PALABRAS CLAVE: *documentación 3D, medidas de conservación, arte parietal, Gravetiense, Pirineos.*

ABSTRACT

The Gargas cave is a reference cave for the European Gravettian period due to its exceptional rock art and the richness of its archaeological site, which had already attracted the attention of prehistorians between the late 19th and early 20th centuries.

After almost a century of interruption of archaeological work in the field (excavations carried out in 1911 and 1913 by E. Cartailhac and H. Breuil), a new research project was launched in 2004. The programme was based on a global approach that included the revision of the old collections, the evaluation of the archaeological potential preserved and the location of possible witnesses of the original fill, as well as a study of the cave that took into account the dual aspect of a decorated cave and a prehistoric habitat in an integrated manner. The aim was to better understand the functional, spatial and chronological characteristics of the use of the site by the authors of the cave paintings.

In this comprehensive approach, it seemed obvious to us to integrate, from 2009 onwards, the digital tool to multiply the documentary capacities of the studies and to answer questions that more traditional methodologies cannot resolve. Several examples will be presented here in relation to the chrono-stratigraphic context of the excavations, both on the scale of the site (plans, sections, illustrations, etc.) and their application to the study of the remains found (examination of a human mandible by means of microtomography). Furthermore, we will address the issue of using 3D information for conservation and data management purposes.

KEY WORDS: *3D documentation, conservation measures, parietal art, Gravettian, Pyrenees.*



Figura 1. Localización de Gargas y de los yacimientos gravetienses de los Pirineos. Estrella llena: cueva. Estrella vacía: yacimiento al aire libre. Nombre subrayado: cueva con arte parietal.

CONTEXTO HISTÓRICO

La cueva de Gargas, conocida por su arte parietal y su yacimiento prehistórico de inicios del Paleolítico superior, fue objeto de excavaciones arqueológicas entre finales del siglo XIX y principios del XX. Situada en el corazón de los Pirineos centrales, en una de las primeras estribaciones que dominan la confluencia Neste-Garona, su ubicación permite acceder fácilmente a los recursos de la llanura y de la montaña (Fig. 1).

Las excavaciones más importantes (Fig. 2) fueron realizadas por Félix Régnauld desde 1873, y sobre todo por Émile Cartailhac y Henri Breuil en 1911 y 1913, pero estas no se publicaron hasta casi medio siglo más tarde, a partir de las notas de campo tomadas por los autores y de un estudio tipológico sintético de las industrias descubiertas (Breuil y Cheyner, 1958). Las investigaciones de F. Régnauld, orientadas hacia la paleontología, dieron lugar a varios artículos a finales del siglo XIX (Régnauld, 1873, 1884, 1885).

Durante el siglo XX, las investigaciones en la cueva de Gargas se centraron principalmente en el arte rupestre. Tras el descubrimiento de las primeras huellas de

manos pintadas, en 1906 (Régnauld 1907, 1910), el estudio de los paneles pintados y grabados fue emprendido en los años siguientes por H. Breuil y É. Cartailhac, con la colaboración ocasional de H. Obermaier (Cartailhac, 1907, 1909; Cartailhac y Breuil, 1910; Breuil, 1952, 1958). Tras el intento de síntesis propuesto por M. Cantet y A. Clot en 1974, Cl. Barrière publicó en 1976 un estudio monográfico muy completo de los elementos parietales de la cueva, en particular de los grabados. Continuando la labor de A. Sahly sobre las huellas de manos (1966) y de A. Leroi-Gourhan (1967), M. Groenen redactó en 1987 un estudio crítico, incluyendo el primer inventario completo y razonado de este tema, hasta entonces solo tratado parcialmente (Groenen, 1988). Una fecha ^{14}C de $26\,860 \text{ BP} \pm 460$, obtenida a partir de un hueso insertado en una fisura de la Grande Paroi des Mains, estableció un marco gravetiense indirecto para su arte parietal (Clottes *et al.*, 1992), confirmando así la atribución inicial de H. Breuil a partir del análisis formal comparativo entre las figuras parietales grabadas y el arte mueble sobre plaquetas hallado en los niveles gravetienses.

■ LAS DOS CUEVAS DECORADAS

La red kárstica de Gargas está formada por dos cuevas con arte parietal: la Galería Inferior y la Galería Superior. En la actualidad, se comunican a través de una trinchera artificial excavada por Félix Régnauld a finales del siglo XIX (Fig. 2). El pequeño porche orientado al norte de la Galería Superior siguió siendo accesible hasta el cierre de la cueva a mediados del siglo XX. La entrada prehistórica de la Galería Inferior, orientada al oeste, fue sellada hacia el 24 000 BP por un talud de derrumbe, lo que permitió la conservación óptima del hábitat y del panel principal de pinturas.

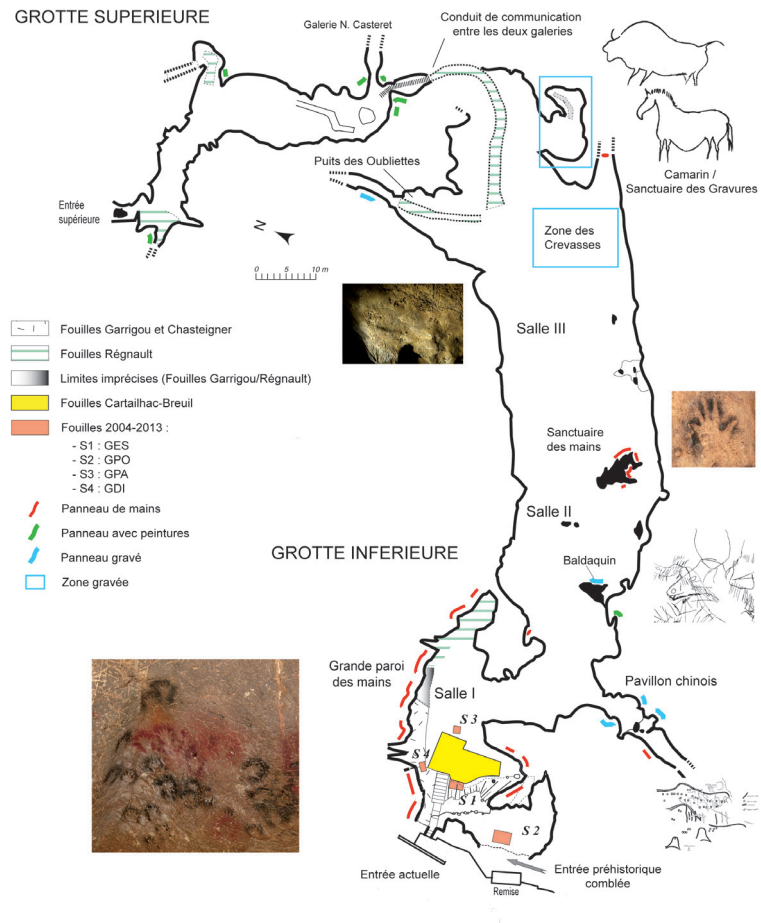
Las pinturas rupestres de la Galería Superior, poco numerosas, están situadas en puntos topográficos significativos: la entrada, el cambio de dirección de la red y el fondo de la galería. Se componen principalmente de figuras de animales pintadas y grabadas (2 cabras montesas, 3 bisontes, 1 cérvido...) y de puntuaciones alineadas for-

mando un signo curvilíneo. Su cronología sigue siendo incierta, pero varias figuras, en particular un bisonte grabado, podrían atribuirse al Magdaleniense.

El dispositivo gráfico de la Galería Inferior consiste principalmente en huellas de manos (Fig. 2), grabados de animales, trazos digitales y algunos signos. El recuento más reciente muestra 194 huellas de manos en negativo, de las cuales 112 son negras, 78 rojas, 3 blancas y una amarilla (Groenen, 1988). El bestiario grabado consta de 125 representaciones animales identificables (Barrière, 1976): el Caballo es el animal más representado (43), seguido del Bisonte (34), de otros bóvidos (19: uros e indeterminados), de la Cabra montés (9), los cérvidos (10), el Mamut (5), el Alce (3) y, por último, las aves (2).

El espacio de la cueva se estructura en función de los grandes temas y técnicas de representación (Foucher *et al.*, 2007). Las manos ocupan sobre todo las primeras salas de la galería a partir de la entrada original, mientras que los grabados de animales pre-

■ *Figura 2. Mapa topográfico de la red kárstica de Gargas. Galería Superior y Galería Inferior, con la ubicación de los paneles con arte parietal y las excavaciones antiguas y recientes (según Barrière, 1984; modificado Foucher, Texier 2004).*



dominan en la parte final (Fig. 2). Hay que señalar que las manos y los animales nunca están directamente asociados en los mismos paneles. Solo en dos puntos concretos de la parte central de la galería se aprecia una proximidad entre los trazos digitales y otros tipos de representación: en un panel de la zona exterior del Santuario de las Manos, donde algunas manos se sitúan bajo trazos digitales no figurativos, y en el panel del Baldaquino, donde se superponen grabados de animales y trazos digitales.

■ EL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN 2004-2018

La reanudación de los estudios sobre la cueva de Gargas se inició en el marco del Proyecto Colectivo de Investigación “Le complexe Gravettien-Solutréen dans les Pyrénées: cadre chrono-culturel et stratégies d’exploitation des ressources naturelles” (San Juan-Foucher, 2003, 2009). A continuación, el programa de excavación se centró en una problemática global, que incluía una revisión de las colecciones de Cartailhac-Breuil y un enfoque integrado de la cueva, teniendo en cuenta su doble aspecto de soporte de arte parietal y lugar de asentamiento. El objetivo era comprender mejor las características funcionales, espaciales y cronológicas de la utilización del lugar por los autores de las pinturas rupestres (Foucher *et al.*, 2016).

Con el fin de obtener una secuencia estratigráfica detallada del yacimiento, así como una buena evaluación de los niveles aún conservados *in situ*, se abrieron cuatro catas de sondeo en la Galería Inferior (Fig. 2), localizadas en la sala I, en el límite de las antiguas excavaciones de Cartailhac-Breuil (GES, GPA y GDI), y en la sala correspondiente al vestíbulo del antiguo porche prehistórico (GPO).

Estos trabajos han permitido recuperar la parte superior de la estratigrafía correspondiente al complejo gravetiense descrito por Cartailhac-Breuil, en un espesor equivalente (Foucher *et al.*, 2008). Sin embargo, existen numerosas discrepancias entre las unidades estratigráficas inferio-

res (descritas como Auriñaciense, Châtel-perroniense, Musteriense), tanto en lo que se refiere a su potencia como a su interpretación crono-cultural.

En lo que se refiere a las ocupaciones gravetienses, toda la información procedente de las nuevas excavaciones y de la revisión de las antiguas colecciones nos habla de la diversidad de actividades desarrolladas en el yacimiento, que superan claramente las propias de un alto de caza, sin llegar a alcanzar la intensidad y el volumen de restos conocidos en los yacimientos magdalenenses llamados de “agregación” (Foucher *et al.*, 2013). Estos datos, cruzados con los proporcionados por el estudio arqueozoológico, indican el paso en diversas épocas del año, actividades de caza y carnicería, así como la explotación de diversas partes del esqueleto y las astas de los cérvidos (reno y ciervo) para la producción de industria ósea y ornamentos personales. Según las fechas de ¹⁴C AMS, la frecuentación de la cueva se distribuyó a lo largo de un periodo prolongado, entre 28 000 y 25 000 BP (31 920-28 800 calBP). Desde un punto de vista crono-cultural, y sobre la base de la industria lítica (buriles de Noailles, puntas de La Gravette y Les Vachons) y ósea (azagayas de Isturitz y costillas con decoración incisa), el hábitat de Gargas se relaciona con el Gravetiense de Noailles.

Las representaciones pintadas de huellas de manos en negativo están dispersas por toda la cueva, a veces de forma aislada, pero la mayor concentración se encuentra en torno a la Sala I, donde se estableció el hábitat y se desarrollaron las actividades de la vida cotidiana. Entre ellas figuran no sólo los restos de alimentación colectiva (doméstica o de consumo ritual), sino también vestigios de la fabricación de herramientas y objetos de adorno, la transformación de pieles para la confección de prendas de vestir y la sustitución de proyectiles para la caza. Por otra parte, la mayoría de los grabados parietales de animales se localizan en el fondo de galerías y divertículos, donde no hay huellas de residencia doméstica, mientras que las plaquetas grabadas se han descubierto mezcladas con los restos de hogares en la Sala I (San Juan-Foucher y Foucher, 2016).

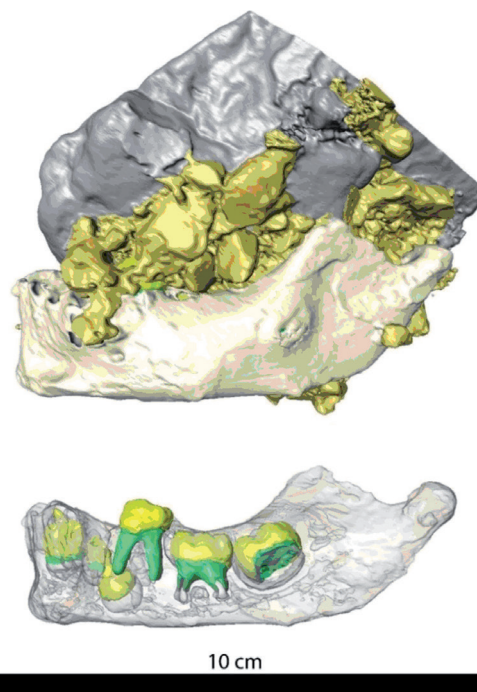
Así pues, parecen surgir dos tipos de manifestaciones simbólicas, unas compatibles con la vida cotidiana del grupo y otras reservadas a espacios específicos no habitados. Es concebible, por lo tanto, que la creación de cada una de ellas responda a prácticas y necesidades diferentes dentro de un mismo colectivo humano.

Por último, el descubrimiento de una mandíbula infantil en el nivel de hábitat gravetiense próximo del Gran Panel de las Manos durante la campaña de 2011 (Fig. 3), así como el de un fémur de adulto hallado durante las excavaciones de Cartailhac-Breuil (Foucher *et al.*, 2012, 2019; Le Luyer *et al.*, 2022), establece un nuevo contexto funerario en Gargas, añadiendo así nuevas perspectivas de estudio e interpretación del yacimiento.

■ BALANCE ACTUAL Y MEDIDAS DE CONSERVACIÓN

El arte parietal en cuevas, en particular las que siguen abiertas al público como Gargas, plantea habitualmente problemas de conservación, pero aún más en el contexto de cambio climático actual. En los años 1990, la cavidad experimentó una crisis biológica sin precedentes (desarrollo de algas verdes), debido a la falta de control de las visitas turísticas y a la presencia de infraestructuras anticuadas, en particular un sistema de iluminación inadecuado (lámparas incandescentes). Esta situación obligó a aplicar estrictamente un plan de medidas drásticas de conservación, elaborado por la Dirección de los Asuntos Culturales de Midi-Pyrénées (Ministerio de Cultura), con la participación del municipio de Aventignan propietario de la cueva y la colaboración del Laboratorio subterráneo de Moulis (CNRS) asociado a la consultoría "Géologie-Environnement-Conseil" (Mauduit, 2007).

El primer paso fue establecer un cupo de visitantes limitado a 240 por día, divididos en grupos de 20 personas como máximo. Corresponde a un umbral de energía admisible para la cueva, que se ha evaluado



■ Figura 3. Microtomografía con rayos X de la mandíbula infantil gravetiense de GPA (Le Luyer *et al.*, 2022).

en 12 000 kcal diarias, y que no debe superarse, ya que de lo contrario se pueden crear desequilibrios térmicos que perturben la estabilidad ambiental de la cueva, con el consiguiente riesgo de deterioro de las pinturas rupestres.

El sentido de la visita se ha replanteado por completo. Los grupos de visitantes entran por la Galería Superior y siguen un perfil descendente a través de la cueva hasta la Galería Inferior, llegando al Gran Panel de las Manos como punto culminante de la visita. Esta opción permite que cada visitante realice menos esfuerzo físico y, por tanto, se disipe menos energía en el entorno circundante.

Se han retirado todas las antiguas barandillas y pasarelas de hierro de los años 1930-1970 (Fig. 4). Para canalizar la circulación del público se ha creado en la cueva un sendero formado por losas prefabricadas de hormigón (material inerte) que se ensamblaron y colocaron en el suelo de la cueva, así como pasarelas de acero inoxidable en zonas irregulares (Weets, 2006). Por último, se rediseñó todo el sistema de iluminación

Figura 4. Vista de la Sala 1 y del Gran Panel de las Manos, con la nueva infraestructura: barandilla y pasarela de acero inoxidable (foto J.-F. Peiré – Drac Occitanie).



con la ayuda de un escenógrafo, utilizando primero fibra óptica y después sustituida por tecnología LED (este método de iluminación no provoca el calentamiento de la pared iluminada).

Desde entonces, la cueva es objeto de vigilancia climática confiada a un gabinete especializado (GeConseil) que proporciona a la DRAC informes anuales detallados (Bourges, 2022).

En este contexto de conservación rigurosa, el arte parietal de la cueva requiere toda la atención de la administración, traducida asimismo en una política de adquisición de documentación lo más exhaustiva posible. Por un lado, mediante una campaña de inventario fotográfico en 2003, y recientemente, mediante el escaneado 3D de las huellas negativas de manos pintadas (Scanner Patrimonio e Industria, 2022), con el fin de controlar su evolución.

DOCUMENTACIÓN 3D COMO ÚTIL CIENTÍFICO Y DE ARCHIVO DE CONTROL PARA LA CONSERVACIÓN

La cueva de Gargas (Aventignan, Hautes-Pyrénées) fue pionera desde el año 2009 en el desarrollo de los sistemas de documentación de láser escáner 3D para resolver e interpretar diferentes cuestiones científicas que permitiesen trazar un análisis global de todo el conjunto kárstico. Esta estrategia de documentación fue impulsada por un nuevo proyecto de investigación iniciado en

Gargas a partir de 2004 (Fig. 5). Aunque actualmente el uso metodológico de estas herramientas en el patrimonio arqueológico y concretamente en el arte rupestre ha quedado plenamente extendido, sus inicios en el primer decenio del siglo XXI constituían todo un reto científico y tecnológico tanto en el trabajo en campo y desarrollo como en el procesamiento de la información (Angás, 2019: 83; Bea *et al.*, 2021). En los primeros momentos, se trataba de equipos voluminosos que invertían tiempos veinte veces superiores a los actuales. Además, exigían una gran capacidad de procesamiento de los ordenadores de esta época para poder trabajar con las nubes de puntos tridimensionales, sistemas CAD y visores que aunaban diferentes vistas esféricas y nubes de puntos texturizadas. Todo ello, requería en muchas ocasiones de un acto de confianza tecnológico para poder desarrollar un proyecto de esta índole cuando no se podían garantizar los resultados ante semejante dificultad con el tratamiento de la información. Máxime cuando la filosofía del proyecto subordinaba la tecnología a los resultados científicos esperados. En este sentido, los diferentes sistemas de documentación tridimensional empleados en la cueva de Gargas fueron desarrollados, de manera conjunta con Jorge Miranda Oliván de la *Spin Off* de la Universidad de Zaragoza Scanner Patrimonio e Industria, en diferentes campañas durante los años 2010, 2011 y 2021 para solventar cuestiones científicas diversas.

Inicialmente, la estrategia de documentación fue dividida en las dos primeras campañas (2010 y 2011) en la modelización tridimensional de ambas galerías (superior

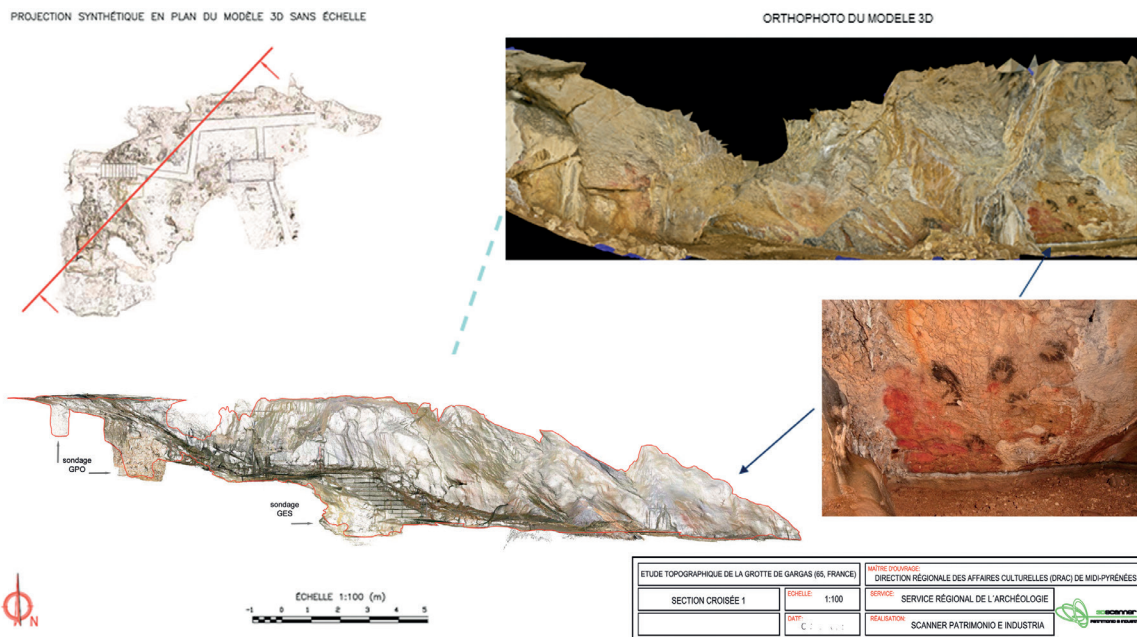


Figura 5. Proyección sintética del modelo 3D de la Sala 1 (© Scanner Patrimonio e Industria).

e inferior), que actualmente forman la cueva de Gargas, junto con la georreferenciación de todo el conjunto mediante un vértice geodésico del *Institut Géographique National (Réseau Géodésique Français)*. El objetivo fundamental fue la adquisición y tratamiento posterior de los datos topográficos de la zona de comunicación escalonada entre la Galería Superior y la Inferior (denominada Trinchera) que componen la cueva (Fig. 6). Para ello, se documentó dicha zona mediante la combinación de técnicas de fotogrametría y de láser escáner 3D del tipo de diferencia de fase. De esta manera, se registró geoméricamente el contexto geomorfológico de la trinchera de conexión entre ambas galerías con el fin de obtener un modelo 3D completo del conjunto arqueológico interior y el entorno exterior inmediato. Este desarrollo permitió trazar diferentes tipos de análisis espaciales del conjunto kárstico para comprender mejor su geomorfología (Fig. 7).

Al mismo tiempo, se realizaron otro tipo de actividades topográficas complementarias para el cálculo y transformación geodésica del sistema de coordenadas relativo a otro absoluto RGF93 (Proyección Lambert-93, altimetría NGF-IGN 1969). Para ello, se utilizó un sensor GNSS RTK fijo posicionado

en el vértice geodésico TIBIRAN-JAUNAC I (6544401) con conexión de radio a un equipo móvil que fue adquiriendo todas las bases exteriores del anillo de la poligonal topográfica exterior con el objetivo de obtener una georreferenciación total de la cavidad en su desarrollo interior.

Posteriormente, gracias al trazado de los accesos actuales en Gargas, que permiten un trayecto de entrada y salida diferentes por sendas galerías (Superior e Inferior), se trazó una poligonal topográfica completa mediante el uso de una estación total generando un anillo de bases circular que permitió trasladar el sistema de coordenadas absoluto RGF93 (Proyección Lambert-93, altimetría NGF-IGN 1969).

Los resultados obtenidos en estas dos campañas de intervención consistieron en la creación de una red de bases en coordenadas absolutas Lambert-93 y la modelización tridimensional parcial de ambas galerías que permitió analizar geomorfológicamente todo el conjunto y su relación geoespacial con el exterior (Fig. 8). La apuesta, en esta etapa inicial, sobre la clasificación de la información tridimensional, con el uso con formatos y visores estándares del tipo LAS (para la gestión de

Figura 6. Proyección de la malla de puntos adquirida por escáner láser del conjunto de la Trinchera de F. Régnauld y todas las secciones transversales realizadas (© Scanner Patrimoine e Industria).

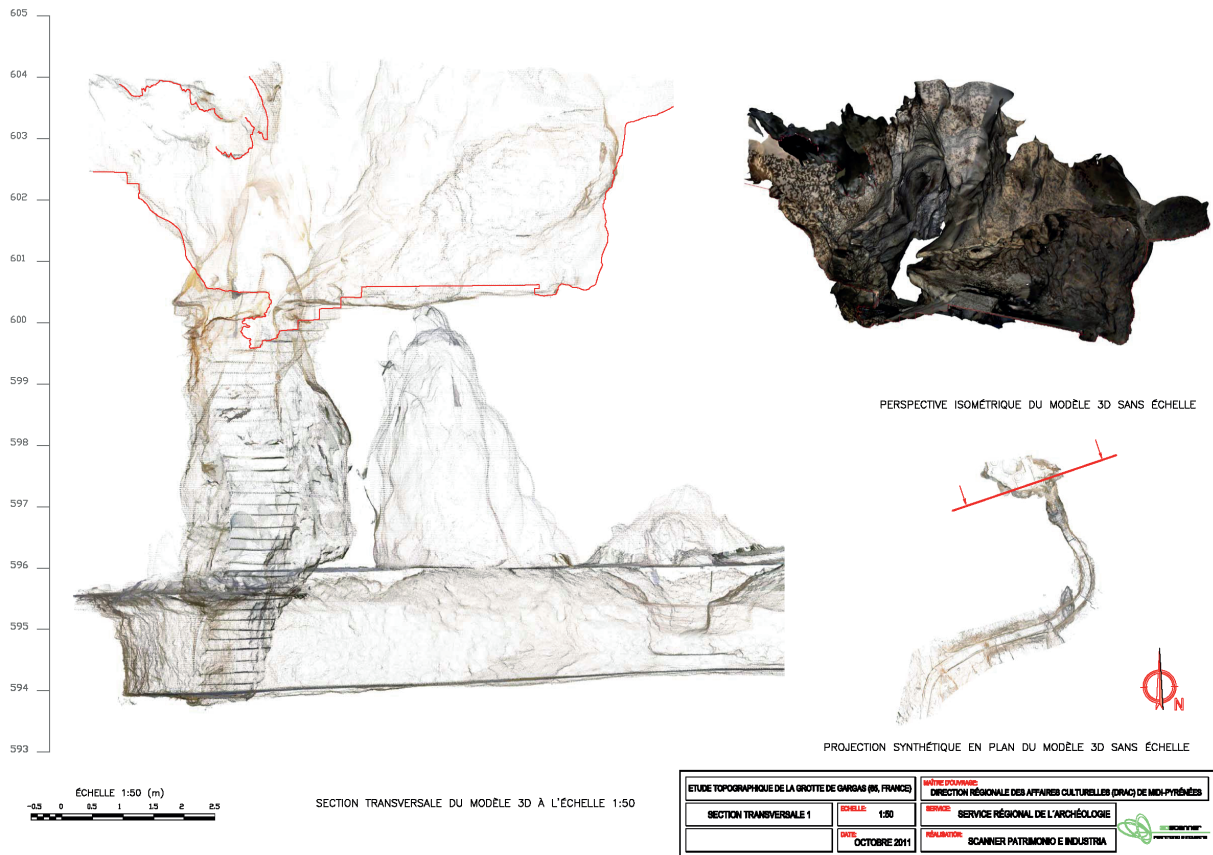
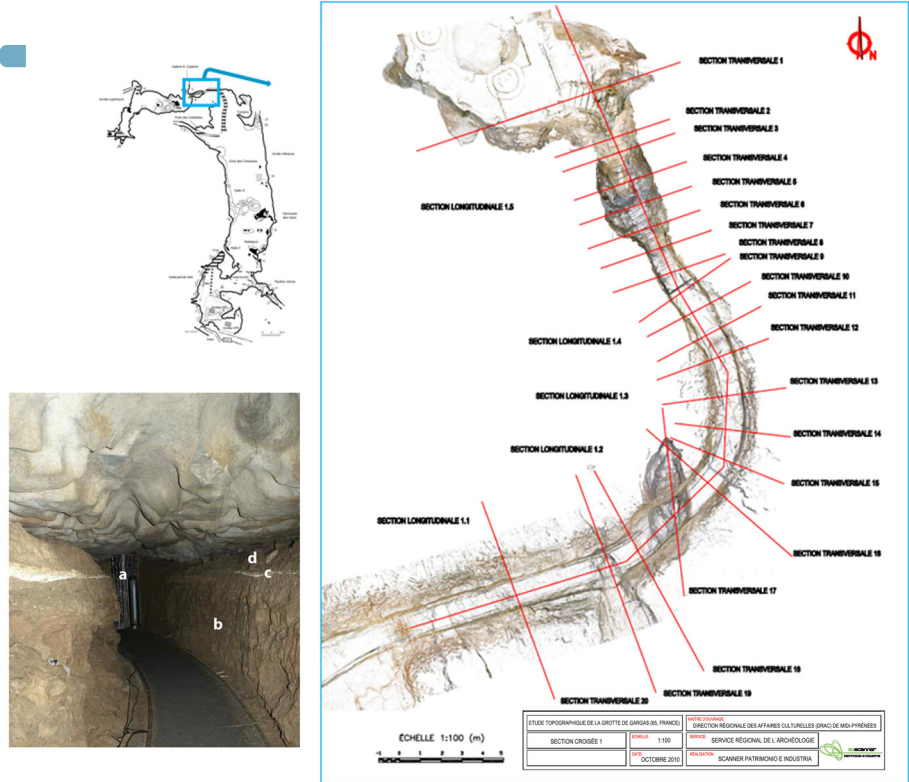
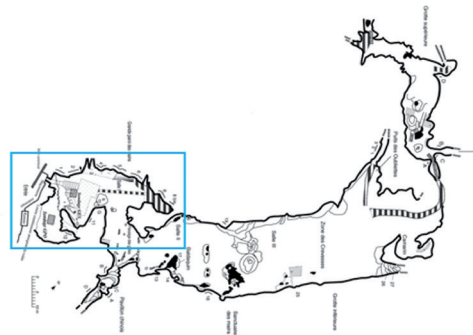


Figura 7. Un ejemplo de la sección transversal de la Trinchera de F. Régnauld (© Scanner Patrimoine e Industria).

Figura 8. Proyección de la malla de puntos adquirida por un escáner láser 3D del conjunto de la Sala 1/ Sala del Porche y del entorno inmediato de la Galería Inferior (© Scanner Patrimonio e Industria).



las nubes de puntos), PDF3D (para el intercambio de los modelos tridimensionales mallados), HTML (para la organización de todo el conjunto de los escaneados registrados a través de un visor web) que permitiesen un uso sencillo de la información, posibilitó el acceso de los datos a los responsables científicos para establecer cuestiones de una manera autónoma.

A finales de 2021 se inició otra campaña de registro complementaria con el objetivo de generar modelos tridimensionales en alta resolución de los conjuntos decorados más sobresalientes de la cavidad: «Sanctuaire des Mains» y de la «Grande Paroi des Mains». En esta ocasión, se utilizaron técnicas de láser escáner 3D Wave *Form*

Digitizer (supusieron una innovación tecnológica respecto a los sistemas de registro anteriores donde se combina la tecnología láser escáner 3D de tiempo de vuelo con diferencia de fase), escáner 3D de luz blanca estructurada y fotogrametría de alta resolución (Fig. 9). Sin duda, representaba un avance tecnológico que mejoraba la resolución y la rapidez en la adquisición de la información y, por otro lado, completaba los resultados adquiridos diez años antes. De hecho, la clasificación y conservación de la red de bases facilitó su correcta georeferenciación e igualmente contribuyó a monitorizar, si fuese el caso, cualquier tipo patología estructural que pudiese tener la cavidad a través del gemelo digital registrado entre 2010 y 2011.

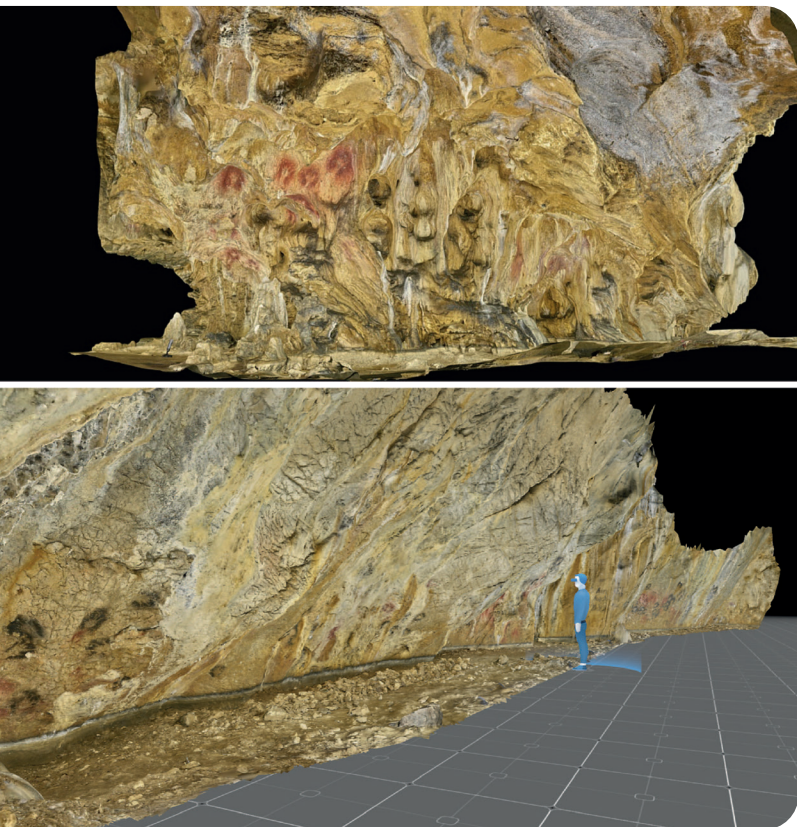


Figura 9. Modelos tridimensionales texturizados del «Sanctuaire des Mains» y de la «Grande Paroi des Mains» simulando una vista virtual mediante un navegador web (© Scanner Patrimoine e Industria).

En este intervalo de tiempo de aproximadamente un decenio, la tecnología ha permitido grandes avances en tamaño, velocidad y prestaciones de los equipos de hardware, junto con una concienciación en el uso y aprovechamiento metodológico dentro del patrimonio cultural. Estas mejoras no han pasado inadvertidas para los estudios de conservación del arte rupestre. De esta manera, se han desarrollado herramientas directamente a través de los navegadores web que no requieren de programas específicos, gracias a la especificación estándar WebGL y, sobre todo, no menos importante se ha adquirido una mayor madurez metodológica por parte de la comunidad científica en el uso, tratamiento y difusión de este tipo de información.

Los resultados de esta última campaña de 2021 definieron una modelización tridimensional a muy alta resolución de los paneles decorados con pinturas rupestres.

En concreto se registraron estos dos espacios singulares, «Sanctuaire des Mains» y «Grande Paroi des Mains», aportando una alta resolución gráfica y métrica combinando estas herramientas de escaneo 3D (láser y luz blanca estructurada) junto con la adquisición fotogramétrica y ajuste radiométrico con cartas de color calibradas. De la misma manera, los ficheros obtenidos han permitido una mayor democratización en su uso con otro tipo de formatos de nubes de puntos, mallas y ficheros web: E57, OBJ, librerías three.js, html.

■ CONCLUSIÓN

A modo de conclusión, la implementación de los sistemas de registro tridimensionales en la cueva de Gargas en los últimos quince años ha permitido un aprovechamiento progresivo de la información obtenida, subordinando en todo momento la tecnología a las necesidades científicas en el conocimiento geomorfológico y en el estudio y catalogación de las zonas decoradas más sobresalientes de la cavidad. En este sentido, el uso racional de los sistemas de documentación ha proporcionado igualmente una dosificación y, sobre todo, una base firme de estudio científico que ha constituido un punto de partida donde comparar y ampliar la información adquirida en cualquier momento. Este punto resulta fundamental para estudiar, monitorizar, conservar y difundir la cueva de Gargas y su arte rupestre en los próximos años.

■ AGRADECIMIENTOS

El proyecto de investigación de la cueva de Gargas ha sido financiado por el Ministerio de Cultura francés (Direction Régionale des Affaires Culturelles – Occitanie), con el apoyo del Département Hautes-Pyrénées y del ayuntamiento de Aventignan.

■ REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Angás, J. (2019): Documentación geométrica del patrimonio cultural. Análisis de las técnicas, ensayos y nuevas perspectivas. *Caesaraugusta 86*, Institución Fernando el Católico.
- Barrière, C. I. (1976): *L'art pariétal de la grotte de Gargas*. 2 vol., 409 p. (B.A.R. Supplementary Series, n° 14), Oxford.
- Barrière, C. I. (1984): La grotte de Gargas. En *L'Art des Cavernes. Atlas des grottes ornées*, Imprimerie Nationale, pp. 514-522.
- Bea, M.; Domingo, I. y Angás, J. (2021): El abrigo de Barranco Gómez (Castellote, Teruel), un nuevo conjunto con arte levantino en el núcleo rupestre del Guadalope. *Trabajos de Prehistoria*. 78 (1), pp. 164-178. CSIC, 2021.
- Bourges, F. (2023): *Suivi environnemental des grottes ornées paléolithiques d'Occitanie en 2022*. Drac Occitanie, Service régional de l'archéologie.
- Breuil, H. (1952): Quatre cents siècles d'art pariétal. Les cavernes ornées de l'Age du Renne. Éd. Windels, Montignac.
- Breuil, H. (1953): Gravures sur schiste périgordiennes de la caverne de Gargas, in *Mélanges Hamal Nandrin. Bulletin de la Société royale belge d'Anthropologie et de Préhistoire*, 64, pp. 42-50.
- Breuil, H. (1958): La décoration pariétale préhistorique de la grotte de Gargas. *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 93, pp. 391-409.
- Breuil, H. y Cheynier, A. (1958): Les fouilles de Breuil et Cartailhac dans la grotte de Gargas en 1911 et 1913. *Bulletin de la Société méridionale de Spéléologie et de Préhistoire*, t. V, 1954-55, p. 341-382 (extrait du *Bulletin de la Société d'Histoire naturelle de Toulouse*, 93).
- Cantet, M. y Clot, A. (1974): Datation de l'art pariétal à Gargas. *Revue du Comminges*, 87, pp. 1-14.
- Cartailhac, É. (1907): Les mains rouges et noires de la grotte de Gargas. *Congrès de l'AFAS*, II, Lyon, pp. 717-720.
- Cartailhac, É. (1906-1909): Les mains rouges et noires et les dessins paléolithiques de la grotte de Gargas. *Bulletin de la Société d'archéologie du Midi de la France*, XXXVII, pp. 140-141.
- Cartailhac, É. y Breuil, H. (1910): Les peintures et gravures murales des cavernes pyrénéennes, IV Gargas, commune d'Aventignan (Hautes-Pyrénées). *L'Anthropologie*, 21, pp. 129-148.
- Clottes, J.; Valladas, H.; Cachier, H. y Arnold, M. (1992): Des dates pour Niaux et Gargas. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 89, 9, pp. 270-274.
- Foucher, P.; San Juan-Foucher, C. y Rumeau, Y. (2007): *La grotte de Gargas. Un siècle de recherches*, Communauté de communes du canton de Saint-Laurent-de-Neste.
- Foucher, P.; San Juan-Foucher, C.; Ferrier, C.; Couchoud, I. y Vercoutère, C. (2008): La grotte de Gargas (Aventignan, Hautes-Pyrénées): nouvelles perspectives de recherche et premiers résultats sur les occupations gravettiennes, In J. Jaubert, J.-G. Bordes, I. Ortega (dir) *Les sociétés paléolithiques d'un grand Sud-Ouest - Nouveaux gisements, nouvelles méthodes, nouveaux résultats*. Actes des journées de la Société préhistorique française et de l'Université de Bordeaux I, nov. 2006, pp. 301-324 (Mémoire de la Société préhistorique française: 47). <http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00494329/fr/>

Foucher, P.; San Juan-Foucher, C.; Henry-Gambier, D.; Vercoutère, C. y Ferrier, C. (2012): Discovery of the mandibule of a young child in a Gravettian level of Gargas cave (Hautes-Pyrénées, France). *Paléo*, 23. <http://paleo.revues.org/2472>

Foucher, P.; San Juan-Foucher, C.; Vercoutère, C. y Ferrier, C. (2013): Gargas Cave (Hautes-Pyrénées, France): the Archaeological Context and the Interpretations of the Parietal Art. En J. Clottes (dir) – *Pleistocene art of the world*, Proceedings of the IFRAO Congress, September 2010. Short articles, *P@lethnology*, 5, pp. 58-59. <http://blogs.univ-tlse2.fr/palethnologie/2013-revue/>

Foucher, P.; San Juan-Foucher, C.; Vercoutère, C.; Ferrier, C.; Séronie-Vivien, M.-R.; Peña, P. De La; Fernandes, P.; Servelle, Ch. y Colonge, D. (2016): Raw material procurement and use at Gargas Cave (Haute-Pyrénées, France): a Pyrenean-foothill economy during the Gravettian period. Actes du colloque UISPP XVII Burgos 2014, session HOME A-6b, *Munibe*, 67, pp. 253-268. <http://www.aranzadi.eus/fileadmin/docs/Munibe/maa.2016.67.mis10.pdf>

Foucher, P.; San Juan-Foucher, C.; Villotte, S.; Bayle, P.; Vercoutère, C. y Ferrier, C. (2019): Les vestiges humains gravettiens de la grotte de Gargas (Aventignan, France): datations ¹⁴C AMS directes et contexte chrono-culture. *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 116, 1, pp. 29-39.

Groenen, M. (1988): Les représentations de mains négatives dans les grottes de Gargas et de Tibiran (Hautes-Pyrénées). Approche méthodologique. *Bulletin de la Société Royale Belge d'Anthropologie et de Préhistoire*, 99, pp. 81-113.

Leroi-Gourhan, A. (1967): Les mains de Gargas. Essai pour une étude d'ensemble, *Bulletin de la Société Préhistorique Française*, 64, pp. 107-122.

Le Luyer, M.; Villotte, S.; Bayle, P.; Natahi, S.; Thibeault, A.; Dutailly, B.; Vercoutère, C.; Ferrier, C.; San Juan-Foucher, C. y Foucher, P. (2022): Mandible and teeth characterization of the Gravettian child from Gargas, France, *Bulletins et mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 34 (1), pp. 104-116, 6 fig. DOI: 10.4000/bmsap.9810.

Mauduit, E. (2007): Gargas ou la caverne revisitée. En Foucher, P.; San Juan-Foucher, C., Rumeau, Y. (dir.) *La grotte de Gargas. Un siècle de recherches*, Communauté de communes du canton de Saint-Laurent-de-Neste, pp. 43-52.

Régnauld, F. (1873): Fouilles dans la grotte de Gargas. *Comptes-rendus des Congrès scientifiques de France*, pp. 369-371.

Régnauld, F. (1884): *La grotte de Gargas. Origine des cavernes. Étude des dépôts fossilifères*. A. Régnauld et fils éditeurs, Toulouse.

Régnauld, F. (1885): La grotte de Gargas. Commune d'Aventignan (Hautes-Pyrénées). *Revue de Comminges et des Pyrénées centrales*, pp. 79-87.

Régnauld, F. (1887): L'industrie primitive de l'Homme dans la grotte de Gargas. En *Congrès A.F.A.S.*, 16e session, Toulouse 1887, pp. 241-242.

Régnauld, F. (1907): Empreintes de mains humaines dans la grotte de Gargas (Hautes-Pyrénées). *Comptes Rendus de l'A.F.A.S.*, 35e session, Lyon 1906, II, pp. 720-722.

Régnauld, F. (1910): Empreintes de mains humaines dans la grotte de Gargas (Hautes-Pyrénées). *Bulletins et Mémoires de la Société d'Anthropologie de Paris*, 7, Ve série, C. R. du 5 juillet 1906, pp. 331-332.

Sahly, A. (1966): *Les Mains mutilées dans l'art préhistorique*. Toulouse/Tunis, Privat/ Maison tunisienne de l'édition.

San Juan-Foucher, C. dir. (2003): *Le complexe Gravettien –Solutréen dans les Pyrénées: cadre chrono-culturel et stratégie d'exploitation des ressources naturelles*, Rapport de Projet collectif de Recherche, Service régional de l'Archéologie, Toulouse.

San Juan-Foucher, C. (2009): Le complexe Gravettien-Solutréen dans les Pyrénées: cadre chrono-culturel et stratégies d'exploitation des ressources naturelles. *Bilan scientifique 2005*, Service Régional de l'Archéologie, DRAC de Midi-Pyrénées, Ministère de la Culture et de la Communication, pp. 174-175.

San Juan-Foucher, C. y Foucher, P. (2016): L'art gravettien sur supports lithiques de la grotte de Gargas (Hautes-Pyrénées, France). En Cleyet-Merle J.-J., Geneste J.-M., Man-Estier E. (dir.) – *L'art au quotidien. Objets ornés du Paléolithique supérieur*, Actes du colloque international Les Eyzies-de-Tayac, 16-20 juin 2014, *Paléo* n° spécial 2016, pp. 345-359.

Weets, O. (2006): L'aménagement de la grotte de Gargas, *Monumental*. (Dossier les Grottes ornées), pp. 37-39.