

## Vers une normalisation de la documentation 3D de parois ornées : les grottes de Niaux (Ariège) et de Roucadour (Lot)

Jorge Angás, Yanik Le Guillou, Éric Mauduit

---

### Citer ce document / Cite this document :

Angás Jorge, Le Guillou Yanik, Mauduit Éric. Vers une normalisation de la documentation 3D de parois ornées : les grottes de Niaux (Ariège) et de Roucadour (Lot). In: Karstologia : revue de karstologie et de spéléologie physique, n°63,2014. Karst, grottes et 3D (1) pp. 21-34;

doi : <https://doi.org/10.3406/karst.2014.3040>;

[http://www.persee.fr/doc/karst\\_0751-7688\\_2014\\_num\\_63\\_1\\_3040](http://www.persee.fr/doc/karst_0751-7688_2014_num_63_1_3040);

---

Fichier pdf généré le 27/01/2025

## Abstract

Towards a normalization of 3D documentation of decorated walls : the caves of Niaux (Ariège) and Roucadour (Lot).

The geometrical documentation of a part of the decorated caves of Niaux and Rocamadour was realized in 2012 and 2013. The 3D reconstruction of such caves is often underexploited, either as help for conservation issues, or as tool for archeological research. They are more often used for didactical purposes, be it as tools for making copies of the cave, or as a support of virtual visits. The cause of this discrepancy is diverse. To minimize them, the requirement specification towards the technical realisateur has to be very precise and made in close collaboration with the end user to be adapted to the objectives. The delivered product has to be usable with «free» programs with interchange formats that allow a use with variable definitions and variable reprogramming. In parallel, a normalization of 3D models should allow a more diverse use. These works also put a question mark on intellectual property of products which, following their order, should be exact copies of the original.

## Résumé

La documentation géométrique d'une partie des grottes ornées de Niaux et de Roucadour a été réalisée en 2012 et 2013. Les relevés 3D de grottes ornées nous semblent souvent sous-exploités, que ce soit comme outils d'assistance à la conservation ou comme outils de la recherche archéologique. Ils sont mieux utilisés en matière de médiation, en tant qu'outils techniques pour la réalisation de copies, ou comme supports de visites virtuelles. Les causes de ces inadéquations sont multiples : afin d'y remédier, le cahier des charges destiné au prestataire technique doit être très précis, et élaboré étroitement avec l'utilisateur afin d'être adapté aux objectifs. Les produits livrés doivent être utilisables à partir de logiciels «libres», sous des formats permettant une utilisation avec des définitions et des «poids informatiques» adaptables. Parallèlement, une normalisation des modèles tridimensionnels devrait permettre une plus grande diversité d'utilisations. Ces travaux interrogent aussi sur la propriété intellectuelle de productions qui, dans le cadre de leur commande, doivent être des copies conformes de l'original.

Jorge ANGÁS<sup>1</sup>,  
Yanik LE GUILLOU<sup>2</sup>  
et Eric MAUDUIT<sup>3</sup>

(1) Avda de Navarra  
103, Saragosse, Espagne  
j.angas@3dscanner.es  
(2) Ministère de la Culture  
UMR 5608 du CNRS  
yanikleguillou@gmail.com  
(3) Service Régional de  
l'Archéologie, Direction  
Régionale des Affaires  
Culturelles de Midi-Pyrénées  
eric.mauduit@culture.gouv.fr

# Vers une normalisation de la documentation 3D de parois ornées: les grottes de Niaux (Ariège) et de Roucadour (Lot)

**RÉSUMÉ:** La documentation géométrique d'une partie des grottes ornées de Niaux et de Roucadour a été réalisée en 2012 et 2013. Les relevés 3D de grottes ornées nous semblent souvent sous-exploités, que ce soit comme outils d'assistance à la conservation ou comme outils de la recherche archéologique. Ils sont mieux utilisés en matière de médiation, en tant qu'outils techniques pour la réalisation de copies, ou comme supports de visites virtuelles.

Les causes de ces inadéquations sont multiples: afin d'y remédier, le cahier des charges destiné au prestataire technique doit être très précis, et élaboré étroitement avec l'utilisateur afin d'être adapté aux objectifs. Les produits livrés doivent être utilisables à partir de logiciels « libres », sous des formats permettant une utilisation avec des définitions et

des « poids informatiques » adaptables. Parallèlement, une normalisation des modèles tridimensionnels devrait permettre une plus grande diversité d'utilisations. Ces travaux interrogent aussi sur la propriété intellectuelle de productions qui, dans le cadre de leur commande, doivent être des copies conformes de l'original. **MOTS-CLÉS:** lasergrammétrie, grottes ornées, documentation 3D, Rocadour, Niaux.

**ABSTRACT:** TOWARDS A NORMALIZATION OF 3D DOCUMENTATION OF DECORATED WALLS: THE CAVES OF NIAUX (ARIÈGE) AND ROUCADOUR (LOT). The geometrical documentation of a part of the decorated caves of Niaux and Rocamadour was realized in 2012 and 2013. The 3D reconstruction of such caves is often underexploited, either as help for conservation issues, or as tool for archeological research. They are more

often used for didactical purposes, be it as tools for making copies of the cave, or as a support of virtual visits.

The cause of this discrepancy is diverse. To minimize them, the requirement specification towards the technical realisor has to be very precise and made in close collaboration with the end user to be adapted to the objectives. The delivered product has to be usable with «free» programs with interchange formats that allow a use with variable definitions and variable reprogramming. In parallel, a normalization of 3D models should allow a more diverse use.

These works also put a question mark on intellectual property of products which, following their order, should be exact copies of the original.

**KEYWORDS:** laser topography, rock-art caves, 3D documentation, Rocadour, Niaux.

## Introduction

### L'intérêt archéologique et artistique des grottes de Niaux et de Roucadour

En 2012 et 2013, Scanner Patrimoine et Industria, entreprise essaimée de l'Université de Saragosse, a réalisé la documentation géométrique d'une partie des grottes de Niaux et de Roucadour, suite à une commande du Service régional de l'Archéologie de la Direction régionale des Affaires Culturelles de Midi-Pyrénées.

Les grottes ornées paléolithiques de Niaux (Ariège) et de Roucadour (Lot) sont propriétés de l'Etat. Les peintures de la grotte de Niaux ont été découvertes en 1906 dans cette cavité visitée depuis

au moins le 16<sup>e</sup> siècle. Dès la découverte, et sans discontinuer, les plus grands préhistoriens travaillant sur l'art pariétal y ont consacré travaux et réflexions. Henri Breuil la considérait comme un des géants de l'art pariétal. André Leroi-Gourhan en faisait une référence de son « Magdalénien Moyen - Style IV Ancien ». Outre des dizaines d'ouvrages scientifiques abordant partiellement la cavité, deux publications monographiques seront réalisées: celle d'A. Beltran en 1973 puis celle de J. Clottes en 1995.

Les peintures, attribuées à un Magdalénien moyen plutôt avancé, se regroupent en plusieurs panneaux aux constructions nettement plus symboliques que figuratives.

Des composantes techniques et esthétiques des œuvres révèlent entre autres de multiples modes de représentation de volumes et de différences de plans, telles les vues en perspective sur les doubles doigts de certains sabots de bison, ou les lignes courbes de certains pelages.

Certaines caractéristiques de style relèvent de traditions très locales, telles les cornes de bison aux diamètres de simples antennes.

Quelques œuvres sont disséminées en de nombreux endroits de cette cavité fréquentée au Magdalénien sur plusieurs kilomètres. Mais l'essentiel, tant quantitatif que qualitatif, de la décoration est concentré dans une salle ovale de grandes

dimensions (dia  $\approx$  17 m x 25 m), en forme de coupole (hauteur de voûte  $\approx$  25 m) : le Salon Noir, situé à 800 mètres de l'entrée (photo 1).

La grotte de Roucadour, où la galerie ornée est découverte en 1962, est moins connue. L'art pariétal y est attribué au Gravettien, peut-être à une phase assez ancienne. À des raclages de paroi localisés, et au tracé de mains négatives détournées, a succédé l'incision dense de fines gravures. Elles concernent un bestiaire très varié, et des sélections thématiques qui sont proches de celles de la grotte Chauvet.

Les œuvres conservées sont localisées au fond d'une galerie latérale. 95 % de cette décoration recouvrent les parois d'une étroite diacase de 5 mètres de long pour une largeur de 4 mètres à son entrée et se réduisant régu-

lièrement jusqu'à son extrémité. Quelques autres œuvres sont conservées en paroi gauche de la galerie.

La morphologie de la cavité s'est profondément modifiée depuis la réalisation des œuvres, au point que nous ignorons à peu près tout de la configuration que pouvaient avoir la galerie principale et l'entrée de la galerie latérale. Ainsi, nous ne savons pas si la décoration pariétale que nous connaissons correspond à la totalité de la décoration paléolithique de la grotte, ou si elle n'en est qu'une composante résiduelle.

Seules quelques publications liminaires [Lorblanchet, 2010, p. 334-365] concernent ce site dont l'intérêt scientifique reste méconnu et sous-estimé (photo 2).

Photo 1 : Le panneau central du Salon Noir de la grotte de Niaux contenant la plupart des dessins les plus travaillés.  
Cliché F. Peiré - DRAC Midi-Pyrénées.

*The central figure of Salon Noir in the Niaux Cave, which contains most of the nicest drawings.*



Photo 2 : Deux mains négatives de la grotte de Roucadour, associées à de multiples incisions.  
Cliché Scanner Patrimoine Industria.

*Two negative hands of Roucadour Cave, along with multiple scratchings.*





## I. Raisons d'être du relevé 3D

La documentation géométrique de l'art rupestre n'est pas seulement utile pour l'analyse scientifique des représentations graphiques des sociétés paléolithiques qui l'ont généré. Elle représente également un outil pour analyser la conservation de l'art rupestre et donc aider à sa préservation. Par ailleurs, diffusion et valorisation sont facilitées par la contribution de l'information graphique ainsi obtenue.

Ces nouvelles techniques peuvent permettre de nouvelles approches méthodologiques grâce, entre autres, à l'adjonction de bases de données. Le registre documentaire ainsi généré peut être utilisé comme un nouveau support scientifique transdisciplinaire.

Ces dernières années, dans le domaine de la géomatique, la prise en compte de nouveaux appareils et de nouveaux logiciels a permis des avancées dans le processus de documentation de l'art rupestre. Ces facteurs ont induit une révolution en termes de possibilités scientifiques. Toutefois, l'absence de standardisation dans la méthode d'enregistrement et dans les modes d'analyse, explique que l'exploitation de ces ressources métriques et graphiques n'a pas suivi les avancées technologiques.

### A. Problématiques conservatoires

La décision de mise en œuvre d'une documentation 3D des ensembles ornés du Salon Noir de Niaux et de la grotte de Roucadour a été essentiellement motivée par la problématique et les enjeux prioritaires de la conservation préventive.

Les parois ornées du Salon Noir sont affectées par des arrivées d'eaux issues des mécanismes naturels d'infiltration dans le massif karstique intensément fracturé. Les phénomènes de ruissellement et d'égouttement en relation avec le réseau de fissures et de micro-fissures constituent des menaces directes pour l'intégrité des peintures paléolithiques. Il semble que ces processus aient été actifs par le passé et que les zones impactées se soient déplacées au cours du temps. Ainsi, en 1978-1979, une dizaine de représentations animales ont totalement ou partiellement disparu suite au lessivage du pigment. Des dessins ont vu se développer des vermiculations de pigment au détriment des tracés peints originels. Un dispositif de dérivation des eaux a été déployé dans l'amont hydraulique sous forme de larmiers, gouttières et

micro-forages associés à une mesure en continu des débits dans un objectif de contrôle et d'alerte. Certaines peintures ont, de plus, bénéficié d'une protection rapprochée par la pose de bourrelets ou de cordons d'élastomère détournant la trajectoire des flux de ruissellement. D'autres encore sont soustraites à l'impact des égouttements par l'implantation de stalactites en même matière. La maintenance des équipements, le remplacement régulier des élastomères présentant une perte d'adhérence au support naturel, ou l'adaptation du dispositif à de nouvelles sources émettrices, assurent la pérennisation de la fonctionnalité de l'ensemble.

La mise à disposition d'un registre géométrique 3D exhaustif des données morphométriques, géo et micro-géomorphologiques, où s'inscrit la connaissance de la distribution spatiale de l'ensemble des éléments impliqués (œuvres pariétales, zones émettrices des flux, secteurs de ré-infiltration, trajets des ruissellements, dispositifs de dérivation ou de captage, mais aussi témoignages d'anciennes destructions, traces de microcalcifications etc.), constitue la base d'une approche taphonomique des parois. Ce registre est un élément pertinent de diagnostic sur l'état de conservation du site orné à la date d'acquisition des données.

Ce registre ouvre la perspective de développer à terme un outil de contrôle des évolutions, de prévision et d'orientation pour la prise de mesures de remédiation adéquates. Il autorise des développements ultérieurs, tels qu'éventuelles modélisations numériques des circulations hydrauliques. Il constitue une première étape vers la construction de bases de données spatialisées dédiées aux ensembles ornés, intégrant les morphométries et géomorphologies de la cavité. Ces outils indispensables favorisent les approches non invasives d'étude du site et les démarches de conservation préventive intégrée qui articulent des programmes opérationnels avec la recherche fondamentale. L'objectif est d'aboutir à un support d'archivage, de mise en cohérence, de croisement, de partage et de redistribution, entre les différents acteurs de la recherche, des données extrêmement diverses issues des études pluridisciplinaires conduites parfois depuis près de 40 ans dans le cas du Salon Noir.

La galerie latérale de Roucadour présente des désordres géomécaniques, conséquences de la dynamique des rem-

plissages sédimentaires karstiques engagée dès la fin de la période glaciaire [Camus, 2005/2006]. Si la principale diaclase, secteur le plus riche en représentations pariétales, apparaît, jusqu'aujourd'hui, peu affectée, en revanche l'instabilité s'est traduite par des effondrements de blocs et la destruction partielle de la paroi gauche du fond de la galerie. La mise en porte-à-faux de l'encaissant, support de gravures paléolithiques, se manifeste actuellement par des ruptures mécaniques empruntant préférentiellement les joints de stratification et les plans de fracturation. L'évolution du mécanisme de destruction sous le simple effet de la gravité aboutira, si on lui laisse libre cours, à l'écroulement de la paroi et à la destruction des œuvres pariétales. Dans ce cas également, les données 3D sont une ressource indispensable à l'appréhension et à la compréhension de toutes les composantes de l'environnement karstique impliquées dans une évolution très vulnérante. Elles sont une aide à la décision pour la mise en œuvre d'aménagements de stabilisation.

### B. Recherche scientifique

La 3D est un outil potentiel de recherche en art pariétal. Cette finalité a été prise en compte dans la conception de nos réalisations. Cela reste toutefois bien plus de l'ordre de la pétition de principe que de la réalité appliquée.

Dans le cas de Niaux, il n'y a plus, depuis quelques décennies, de recherche en cours concernant l'art pariétal. Toute implication de la 3D ne peut être au mieux qu'un vœu, destiné à une future recherche dont nous ignorons le contenu et la date, et pour laquelle nous ne sommes donc pas en situation de qualifier l'intérêt de la 3D produite.

Dans le cas de Roucadour, la situation est différente dans la mesure où M. Lorblanchet a terminé il y a peu une étude de l'art de la cavité au cours de laquelle il a produit des relevés exhaustifs des parois ornées. La publication de ces travaux n'a pas encore eu lieu. Nous nous sommes donc interrogés sur la possibilité d'intégrer la 3D dans cette recherche à ce stade d'avancement. La question de la juxtaposition des relevés récents et soignés de M. Lorblanchet à la documentation géométrique 3D a été soulevée. Puis nous avons écarté cette option. En effet, les relevés sont le fruit d'une projection en plan de la paroi ornée. Cette projection, même si elle est précise,

correspond à des critères aléatoires qui sont extérieurs à la constitution géométrique du modèle 3D. En conséquence, superposer ces relevés sur le modèle 3D, avec une précision indispensable à la recherche archéologique, aurait exigé, de la part du chercheur, une validation point par point avec une précision au moins égale à celle du relevé. La masse de travail aurait été équivalente à celle d'une reprise totale de la réalisation des relevés.

D'une façon plus générale, hors des pétitions de principe et de quelques aspects ou exemples très ponctuels, l'utilisation de la 3D dans la recherche en archéologie des grottes ornées *stricto sensu* reste balbutiante et hésitante.

Parallèlement, l'utilisation des techniques tridimensionnelles semble induire un certain scepticisme chez bien des chercheurs. Peut-être les résultats obtenus ne sont-ils pas à hauteur des espérances. Ou peut-être certains chercheurs n'ont-ils pas été en situation de s'investir dans les phases d'identification d'objectif et d'analyse qui sont préalables à chaque projet d'enregistrement de données.

Il existe peut-être un autre frein à l'approche des modèles 3D en matière de recherche. De fait, la culture méthodologique des chercheurs actuels est bidimensionnelle. Bien que nos bases d'enregistrement soient numériques, et donc ni 2D ni 3D, nos modes de lecture et d'utilisation de ces bases sont en 2D, en faisant appel à des tableaux, des listings, des courbes, des plans, qu'ils soient imprimés ou projetés sur écran. Nos raisonnements sont essentiellement linéaires, fondés sur une vision en 2D, allant d'un point à un autre.

À l'opposé, certains en sont même à considérer que, dans la démarche du chercheur, le modèle 3D pourrait remplacer l'approche directe de la paroi ornée. Restreindre à un simple échange de quelques données métriques et colorimétriques, l'interaction, par le biais la paroi ornée, entre l'homme (l'artiste paléolithique) et l'homme (le chercheur moderne), semble relever d'une vision singulièrement réductrice.

### C. Médiation et valorisation

Dans le cadre de la valorisation en revanche, les relevés 3D ont montré tout leur intérêt. Il peut s'agir d'outils de médiation, telles les promenades virtuelles dans des grottes ornées. Il peut s'agir d'étapes techniques facilitant la réalisation de fac-similés.

Mais à ces fins de valorisation, les exigences de définition, de fiabilité et de vérification, sont minimales. Ces objectifs peuvent se satisfaire de modèles 3D à plus basse définition ou compressés. Ces modèles sont incompatibles avec les exigences de la recherche, comme avec celles de bien des aspects de la conservation.

Sur ce point, il semble que la tendance récente, qui consiste à promouvoir ces restitutions tridimensionnelles, ait entraîné un certain déséquilibre. Dans des projets de documentation géométrique, les questions préalables du « pourquoi » et du « comment » ont parfois été directement remplacées par la demande d'infographies à finalités médiatiques. Ainsi, cette sorte de pression médiatico-sociale a généré ce déséquilibre où la 3D devient finalité, voire panacée, indépendamment d'une réflexion méthodologique suffisamment éprouvée.

Parallèlement à ce constat, il serait peut-être utile de nous demander si un registre tridimensionnel est nécessaire pour générer une vidéo ou une simulation infographique destinées au grand public, et s'il n'y a pas d'autres techniques plus abordables et interférant moins avec les problématiques conservatoires et avec celles de la recherche.

## II. Définition du cahier des charges

L'élaboration du cahier des charges prend appui sur une évaluation actualisée des disponibilités, performances et adaptabilités des technologies d'acquisition et de traitement des données, rapportée aux exigences des objectifs.

Les cahiers des charges ont été établis par le commanditaire, en amont des procédures de consultation à destination des prestataires. Les commandes ont spécifié la réalisation par scannographie de relevés 3D texturés millimétrés des grands ensembles du Salon Noir de Niaux et de la galerie latérale de Roucadour dans la totalité de leurs développements, et un traitement spécifique, pour lequel la précision la plus grande a été exigée, concernant les zones ornées (inframillimétrique pour les gravures fines de Roucadour) et leurs contextes c'est-à-dire les supports et l'environnement des œuvres immédiatement impliqués dans la conservation. Il a été demandé une mise en cohérence, corrélation et fusion des divers relevés 3D (zones ornées et contexte général) dans une unique archive numérique.

La réalisation d'un géoréférencement des grottes dans le système Lambert 93 avec raccordement au NGF a été commandée. Un cheminement polygonal reliant les parois ornées à l'entrée de la grotte a été demandé. Il permet la géolocalisation des éléments des parois ornées et de tout fait pertinent de l'environnement. Le modèle 3D livré doit permettre l'obtention de mesures et la localisation de l'information géométrique en plus de la possibilité de valorisation du support graphique.

Une attention particulière doit être portée à la définition des formats informatiques sous lesquels les résultats de la documentation 3D sont livrés par le prestataire. Il s'agit de s'assurer, pour de futures utilisations, de la disponibilité effective et fonctionnelle des livraisons faites au commanditaire. Ce dernier doit pouvoir disposer de l'intégralité des données brutes, du maillage, d'une corrélation maillage – images, dans des formats utilisables avec d'autres logiciels que ceux de l'acquisition des scanners.

Les formats retenus pour le modèle 3D livré doivent autoriser à la fois une information de qualité scientifique nécessaire aux recherches et un développement en direction d'opérations de valorisation à destination du plus large public. Le maillage 3D dense de l'archive numérique originelle doit se décliner en modèles 3D plus légers. L'accessibilité se traduisant par la possibilité d'intégration dans des bases de données actualisables et compatibles avec les serveurs Web. Les commandes incluent la livraison de modèles de ce type avec visualiseur html, à 360°.

La lecture doit pouvoir en être assurée par l'intermédiaire de formats compatibles avec des logiciels accessibles à tout utilisateur, du type \*.txt, \*.obj, \*.stl, \*.3ds, \*.html, \*.pdf (3D), \*.U3D, \*.vrml, etc.

Les résultats fournis devaient comprendre au minimum : les fichiers RAW des photographies, les ensembles de photographies, les nuages de points traités et texturés, un modèle panoramique métrique pour une visualisation 3D en html incorporant une archive xml pour chaque scannérisation et des métadonnées spécifiques, les fichiers graphiques au format \*.mov, les fichiers 3D de chaque panneau de peintures, gravures ou autres figures au format \*.pdf (3D), les fichiers de ces mêmes panneaux au format \*.vrml et visualiseur, les fichiers

3D du Salon Noir de Niaux et de la galerie ornée de Roucadour au format \*.stl et \*.obj, les planimétries et sections.

Au titre de la vérification du processus, l'information rendue doit permettre le contrôle de la méthode utilisée. Des rapports annexes exposent les protocoles d'acquisition des données. Chaque fichier généré est accompagné d'un bordereau ou fiche de métadonnées qui synthétise le type d'information rendue (ex: CatMEDit). La standardisation de l'information est assurée par l'exportation sur des formats à code ouvert (ASCII, \*.xml), reproductibles et importables par de nombreux logiciels.

La livraison sous forme numérique est complétée d'un rapport contenant le descriptif méthodologique, avec mention des travaux de topographie d'appui, des matériels utilisés pour les différents types d'acquisition, des précisions sur la restitution photogrammétrique et le géoréférencement des coordonnées. Il est spécifié que ce même document détaille le traitement de l'information et offre un tableau des programmes délivrés et du schéma de fonctionnement. Ainsi peuvent être explicités la typologie (nuages de points, maille 3D et textures), les visualiseurs et leur programmation, les photographies (simples et composées), les planimétries et les métadonnées, les formats sous lesquels ces différentes espèces sont délivrées (ainsi que leur type: ouvert, standard, exécutable, RAW...), les logiciels compatibles (Cyclone, Meshlab, Vrmviewer, Acrobat reader, Internet Explorer, Plugin Truview, Quicktime, Xml Note, Pad...), etc.

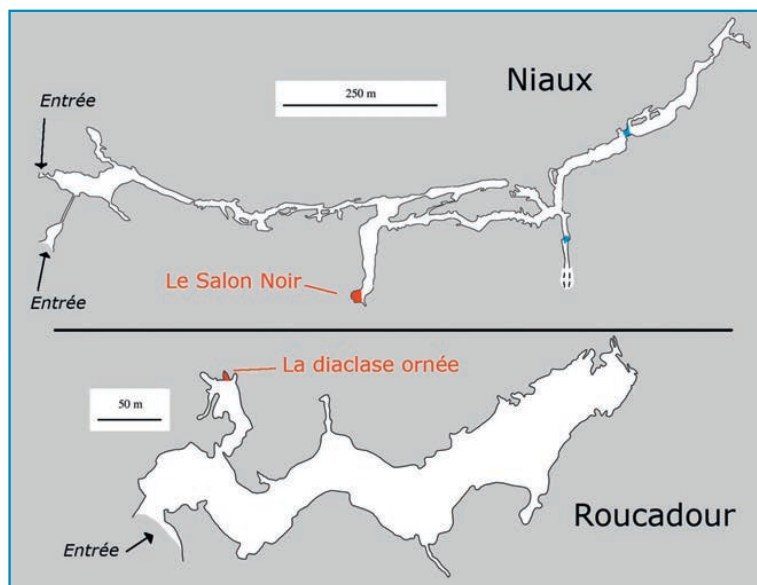
À la livraison, le commanditaire doit disposer, sous format numérique, des données, métadonnées, fichiers, photographies, avec détail des programmes délivrés et schéma de fonctionnement, enregistrés sur un support physique (disque dur externe) et en avoir l'usage intégralement libre.

### III. Travaux sur sites (figure 1)

#### A. Contraintes conservatoires

La réalisation pratique des travaux est impactée par les contraintes conservatoires généralement appliquées dans les grottes ornées. Le nombre d'intervenants et le rythme d'intervention sont limités. L'éclairage est restreint à l'indispensable. Des précautions extrêmes sont imposées à proximité des peintures et gravures. Dans les salles ornées, tout contact avec les parois est prohibé. Nous avons pu, dans les deux grottes, bénéficier de l'électricité. Les particularités de chacune des deux grottes ont engendré des contraintes spécifiques.

À Niaux, la principale contrainte a consisté à transporter tout le matériel sur



800 mètres de progression souterraine. À Roucadour, la diacalse ornée est très étroite. L'espace séparant les parois droite et gauche fait parfois moins de 50 centimètres. Cela interdit tout matériel de grande dimension. Cela impose des appareils ayant des capacités de mise au point ou de mesure à très courte distance. Les travaux dans la diacalse ont eu lieu sur une plateforme artificielle d'environ 4 m<sup>2</sup>, perchée sur pilotis et dominant le sol actuel de près de 4 mètres (photo 3). Malgré

Figure 1: Plans simplifiés des grottes de Niaux et de Roucadour avec localisation en rouge des secteurs situés au cœur des campagnes de relevés. Document: Y. Le Guillou sur la base de topographies existantes dont avant tout: SCHS (grotte de Niaux) et M. Carrière (grotte de Roucadour). *Simplified maps of Niaux and Roucadour caves with localisation (red) of the sectors which were the main objectives of the measuring campaign. Document by Y. Le Guillou on the base of existing maps, mostly from SCHS (Niaux Cave) and M. Carrière (Roucadour Cave).*



Photo 3: La plate-forme de travail permettant l'accès à la diacalse ornée de la grotte de Roucadour. Cliché Y. Le Guillou. *The working platform allowing access to the decorated fissure in Roucadour Cave.*



la qualité de cette plateforme entièrement en métal rigide, et malgré les systèmes de calage dont elle est équipée, le moindre mouvement d'une seule personne induit de légères vibrations de la structure. Vu la précision des résultats demandés, il était nécessaire de rechercher de modes de mesure ou des types d'appareils qui permettent d'intégrer cette contrainte.

## B. Méthode, outils et techniques d'enregistrement

Nous avons tenté d'optimiser les campagnes d'acquisition de données.

Il s'agissait d'abord de prendre en considération la réalité physique objective de l'ensemble orné à la fois sous l'angle de l'art pariétal, de ses spécificités (peintures, gravures fines), mais aussi sous celui de son contexte naturel dont son support (micro – géomorphologies, microcalcifications, réseau fissural, discontinuités stratigraphiques et tectoniques...).

Les demandes induites par les problématiques de recherches se sont traduites par des préconisations quant aux moyens techniques à utiliser pour obtenir des résultats en adéquation avec les artefacts paléolithiques à numériser et avec les éléments naturels contextuels significatifs.

À cet égard, nous avons conduit, avec les acteurs de la recherche une démarche prospective sur le développement prévisible des études et donc sur la définition des ressources numériques dont la disponibilité s'avérerait utile pour la poursuite des travaux. Il s'agissait de traduire cette anticipation par des choix pertinents en termes de matériel, de finesse de définition, de pouvoir de résolution, ainsi que d'exhaustivité des relevés 3D.

Pour chaque grotte, nous avons utilisé des méthodes adaptées aux contraintes qu'imposent les morphologies des supports des manifestations artistiques. Dans ce cadre aux contraintes multiples, la méthode utilisée devait fournir un produit de haute qualité technique disposant des plus grandes facilités d'utilisation possibles. D'autre part, l'information acquise devait être structurée avec des normes qui permettent sa traçabilité et sa valorisation futures (figure 2).

La méthode de travail de terrain et le traitement de l'information acquise à cette occasion peuvent être divisés en trois ensembles d'informations métriques et graphiques interdépendants les uns des autres. Pour chacun de ces ensembles nous avons utilisé des

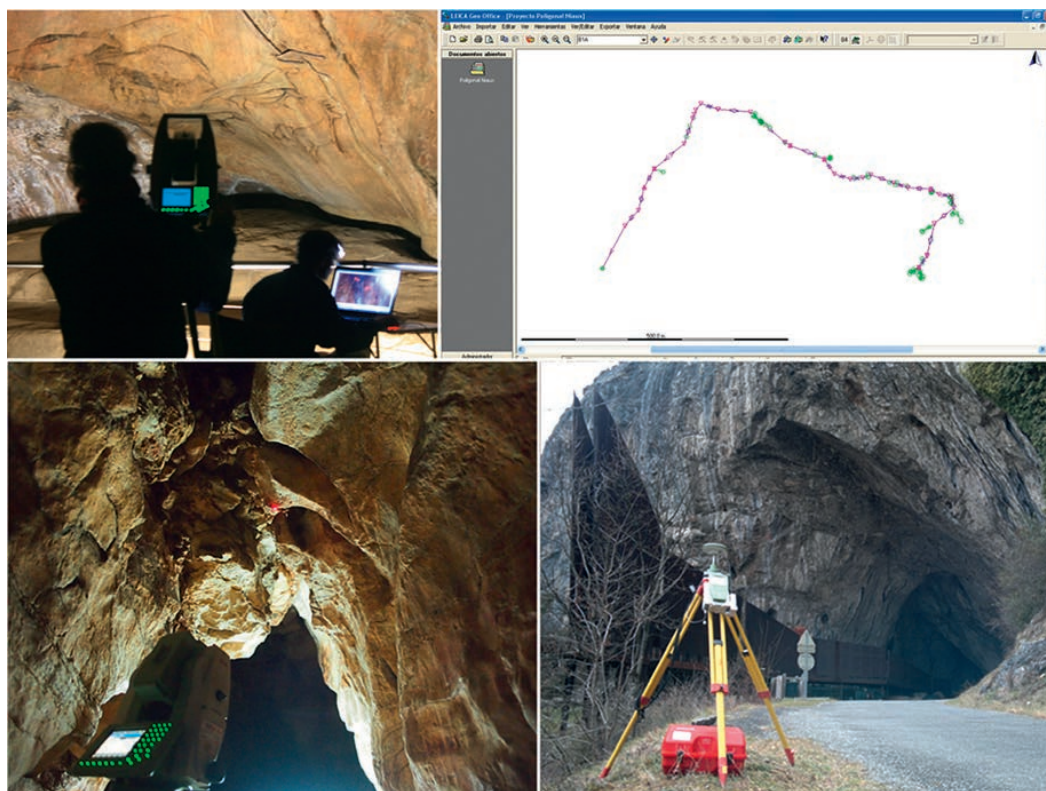
outils adaptés au registre concerné et à sa gestion propre.

Nous avons retenu de systématiser une utilisation conjointe de technologies de scanners et d'autres techniques de documentation comme la topographie et la photogrammétrie. L'intégration des systèmes d'information géographique (SIG) a également été prise en considération. L'information ainsi acquise permet l'obtention d'un modèle 3D disposant d'une définition conforme à l'objectif fixé : réaliser des analyses ultérieures afin d'optimiser les connaissances et la documentation de l'art rupestre.

### 1. Topographie d'appui

C'est la colonne vertébrale sur laquelle reposent les autres travaux. Pour le géoréférencement extérieur, les systèmes GNSS (Global Navigation Satellite System) en mode cinématique et statique ont été utilisés. Pour établir un lien avec l'intérieur de chaque grotte, une polygonale topographique aller-retour a été réalisée avec une station totale. Le géoréférencement des données obtenues en coordonnées Lambert 93 a servi à contrôler la qualité de l'information tridimensionnelle enregistrée. Ce système présente le double intérêt de vérifier les

Figure 2: Salon Noir de la grotte de Niaux: système de documentation géométrique utilisant différents outils: scanner à lumière blanche structurée (à droite), scanner de temps de vol (au centre) et station totale (à gauche). Document: Scanner Patrimonio e Industria.  
*Salon Noir of Niaux cave: the system of geometrical documentation with different tools: scanner with structured white light (at right), scanner with flight-time detector (middle), and total station (at left).*





données géométriques et de préciser la qualité de l'information. En outre, il permettra, à l'avenir, d'élargir la zone documentée, ou de la valider (photo 4).

## 2. Combinaison de différents types de scanners 3D

Le choix des scanners utilisés a été arrêté en fonction du type de support des œuvres et de la précision requise qui variait de 1 centimètre pour des secteurs non ornés jusqu'à 84 microns pour les gravures de la grotte de Roucadour. Parmi les différentes techniques de scanner 3D mises en œuvre, nous pouvons citer : la différence de phase (phase-shift), le temps de vol (time-of-flight), la triangulation et la lumière blanche structurée.

## 3. Photogrammétrie avec soutien topographique

L'utilisation des techniques de photogrammétrie dans ces environnements souterrains sert à améliorer la connaissance métrique et la qualité graphique des données fournies par les différents scanners 3D. Différents appareils photographiques et des objectifs calibrés ont été déployés, systématiquement positionnés par rapport aux points de contrôle que sont le nuage de points du modèle tridimensionnel et les points singuliers enregistrés par une station totale. L'application de ces techniques a permis, pour chacun des panneaux ornés, la création de modèles géométriques parallèles, développant ainsi un outil de comparaison analytique.

Cette brève énumération des différents ensembles technologiques utilisés, permet d'avancer une comparaison conceptuelle de ce système avec le principe dit des « poupées russes ». En effet, tout est relié dans un même système de coordonnées (Lambert 93), avec des échelles variant de celle de la cartographie extérieure à celle d'une microtopographie interne à chacun des panneaux ornés. La relation d'échelle suivante peut être établie : Système GNSS > station totale > scanner de temps de vol > scanner de différence de phase > photogrammétrie > scanner à lumière blanche structurée.

Cette interconnexion des différents niveaux d'échelle permettra, dans le futur, de comparer des modèles et ainsi de détecter des changements géomorphologiques, de contrôler et de quantifier des modifications du support et des œuvres paléolithiques. Il sera également possible



Photo 4 : Systèmes d'acquisition et de traitement de données topographiques. Document : Scanner Patrimonio e Industria. Different systems for obtaining and treating topographical data.

d'étendre la documentation 3D à d'autres secteurs de la grotte tout en autorisant un raccordement à un même système de coordonnées.

## 4. Outils utilisés pour chacun des trois ensembles de données

### a) Topographie

À l'extérieur, afin de prendre appui sur le système GNSS, un appareil Leica system 1200 a été mis en œuvre. Il a été utilisé en divers points proches des grottes, tant en mode cinématique qu'en tant que station fixe de référence. Le géoréférencement a été corrigé, par un post-processus en mode statique, s'appuyant sur les fichiers RINEX des principales stations internationales les plus proches de chacune des grottes.

À l'intérieur des cavités, une station totale Leica TCRA 1203-3 avec mesure à prisme (IR) et laser (LR) a été employée. Dans des conditions de faible éclairage, cet instrument, avec capacité d'auto-centrage à prisme (fonction ATR), est important pour la réalisation des polygones dans les grottes.

### b) Scanner 3D

Nous avons, selon les cas, fait appel à quatre scanners différents :

- Un scanner 3D, Leica Scanstation, à résolution de 2 mm. Ce scanner de technologie de temps de vol n'a été utilisé qu'à Niaux, pour des prises de mesures générales au Salon Noir dans les zones proches. L'amélioration de la texture du nuage de points a été obtenue à l'aide d'un appareil photographique externe calibré.

- Un scanner 3D, Leica HDS 6100 à résolution de 1 mm. Ce scanner à différence de phase a été mis à contribution pour les mesures générales et pour les différents panneaux des deux grottes. L'avantage de cet outil est sa vitesse dans la prise de données associée à une très forte densité de points. Son inconvénient est sa courte portée, mais son emploi combiné avec le système précédent se révèle très performant. Les appareils photographiques internes aux scanners n'étant pas assez performants, nous avons opté pour l'utilisation d'un appareil externe. Associé à des scanners de technologie de temps de vol et de différence de phase, cela permet d'intégrer une texture au nuage de points, ainsi que de contrôler des paramètres : obturation, sensibilité ISO, conditions d'éclairage, balance des blancs, température de couleur, etc.
- Un scanner 3D, Artec MHT à résolution de 0,5 mm, technologie Scanner 3D à lumière blanche structurée. Ce scanner a été utilisé pour la numérisation de tous les panneaux et gravures dans les deux grottes. Son grand avantage est sa portabilité et sa souplesse. Son emploi est toutefois limité à des zones qui ne dépassent pas 4 mètres carrés pour chaque prise de mesure. Bien que ce scanner dispose d'un appareil photographique intégré pour capturer la texture, il a, dans certains cas, été associé à des techniques photogrammétriques (cf. *infra*).
- Un scanner 3D, Reveng à résolution de 0,084 mm. Ce scanner a été choisi pour numériser chacun des panneaux

ornés de Roucadour. Il s'agit d'un des systèmes portables les plus précis parmi ceux qui existent actuellement sur le marché. Particulièrement adapté à l'acquisition dans les zones à gravures fines, il a servi à la réalisation de nombreux balayages verticaux et horizontaux dans la diacase ornée où plus de 500 prises de mesures ont été réalisées (photos 5).

Photos 5: Diacase ornée de la Grotte de Roucadour.

Combinaison de deux résolutions différentes de scanners à lumière blanche structurée en fonction du degré de résolution requis (0.5 mm. et 0.084 mm.).

Document : Scanner

Patrimonio e Industria.

Decorated fissure of

Roucadour Cave. A

combination of two different resolutions of the scanners with structured white light, as a function of the needed resolution (0.5 mm and 0.084 mm).



Figure 3: Système utilisé pour corriger la température de couleur à l'aide d'une charte d'étalonnage calibrée.

Document : Scanner

Patrimonio e Industria.

System used to correct the color temperature with the help of a calibrated grading chart.



### c) Restitution photogrammétrique

Un appareil photographique calibré Nikon D800 de 36 mpx, équipé selon le cas de deux objectifs calibrés différents (Nikon 50 mm f/1.8 et Macro Nikon 105 mm f/2.8), a été mis en œuvre pour la restitution photogrammétrique des panneaux ornés. Afin de garantir la planimétrie de cette documentation de chaque panneau, nous avons conçu un système permettant un déplacement précis de l'appareil entre chaque photographie. Ce système consiste en une barre de métal ou slider sur lequel coulisse l'appareil photographique. Un niveau laser associé permet de garantir l'horizontalité et la verticalité des photographies.

Pour donner de la texture au modèle, nous utilisons une chambre métrique calibrée Canon EOS 550 de 18.8 mpx. Elle est placée sur l'axe x, y, z du scanner. Elle produit ainsi une texture, séparée du modèle, puis incorporée à la géométrie de la grotte obtenue par la scannographie 3D.

Mais la texture ainsi acquise ne fournit pas un niveau de détail répondant aux exigences attendues. Des photographies en haute définition de chacun des panneaux ornés ont donc été réalisées.

L'obtention d'une reproduction fidèle de la pigmentation des peintures a exigé la mise en œuvre des procédés suivants :

- Toutes les photographies ont été prises en format RAW lequel enregistre séparément les valeurs de luminosité et les réglages de couleur.



No.	Number	R	G	B	L*	a*	b*	Munsell Notation Hue Value / Chroma
1.	dark skin	115	82	68	37.986	13.555	14.059	3 YR 3.7 / 3.2
2.	light skin	194	150	130	65.711	18.13	17.81	2.2 YR 6.47 / 4.1
3.	blue sky	98	122	157	49.927	-4.88	-21.925	4.3 PB 4.95 / 5.5
4.	foliage	87	108	67	43.139	-13.095	21.905	6.7 GY 4.2 / 4.1
5.	blue flower	133	128	177	55.112	8.844	-25.399	9.7 PB 5.47 / 6.7
6.	bluish green	103	189	170	70.719	-33.397	-0.199	2.5 BG 7 / 6
7.	orange	214	126	44	62.661	36.067	57.096	5 YR 6 / 11
8.	purplish blue	80	91	166	40.02	10.41	-45.964	7.5 PB 4 / 10.7
9.	moderate red	193	90	99	51.124	48.239	16.248	2.5 R 5 / 10
10.	purple	94	60	108	30.325	22.976	-21.587	5 P 3 / 7
11.	yellow green	157	188	64	72.532	-23.709	57.255	5 GY 7.1 / 9.1
12.	orange yellow	224	163	46	71.941	19.363	67.857	10 YR 7 / 10.5
13.	blue	56	61	150	28.778	14.179	-50.297	7.5 PB 2.9 / 12.7
14.	green	70	148	73	55.261	-38.342	31.37	0.25 G 5.4 / 8.65
15.	red	175	54	60	42.101	53.378	28.19	5 R 4 / 12
16.	yellow	231	199	31	81.733	40.039	79.819	5 Y 8 / 11.1
17.	magenta	187	86	149	51.935	49.986	-14.574	2.5 RP 5 / 12
18.	cyan	8	133	161	51.038	-28.631	-28.638	5 B 5 / 8
19.	white (.05*)	243	243	242	96.539	-0.425	1.186	N 9.5 /
20.	neutral 8 (.23*)	200	200	200	81.257	-0.638	-0.335	N 8 /
21.	neutral 6.5 (.44*)	160	160	160	66.766	-0.734	-0.504	N 6.5 /
22.	neutral 5 (.70*)	122	122	121	50.867	-0.153	-0.27	N 5 /
23.	neutral 3.5 (1.05*)	85	85	85	35.656	-0.421	-1.231	N 3.5 /
24.	black (1.50*)	52	52	52	20.461	-0.079	-0.973	N 2 /



- Des lampes fluorescentes ont assuré un éclairage utilisant la technologie de différence de phase (phase-shift), afin d'obtenir une lumière homogène.
- Comme les parois présentent des plans géométriques différents, les prises de vues ont été multipliées en procédant au contrôle systématique des conditions de luminosité et en réalisant l'ajustement radiométrique de chacune d'elles.
- La mesure de la lumière affectant les parois a été réalisée avec un photomètre externe.
- À chaque configuration d'éclairage, une photo « témoin » a été prise, intégrant un patron de couleur standard, charte d'étalonnage qui identifie la température de couleur de la lumière (degrés Kelvin, figure 3).
- Un calcul de cette température de couleur a ensuite été effectué à partir de la photo témoin et du logiciel Nikon Capture NX2. Cela permet des ajustements appliqués à toutes les photographies pour donner une couleur uniforme à la texture de chacun des panneaux.

En complément, dans les secteurs ornés, une couverture photographique sphérique à très haute définition (giga-pixel) a été réalisée à l'aide d'une rotule motorisée. Cela a facilité l'examen spatial de chaque panneau lors de la phase de traitement de données faisant suite à la phase d'acquisition. Cela peut aussi être utilisé dans des programmes de valorisation de la cavité.

#### IV. Le produit restitué

##### A. Méthodologie et traitement de l'information acquise

Les méthodes de documentation de l'art rupestre ont connu de grands changements depuis les origines de la discipline à la fin du XIX<sup>ème</sup> siècle, en lien avec l'évolution des technologies [Aujoulat, 1993; Bednarik, 2007, p. 55-84]. Bien des domaines sont ainsi concernés, tels ceux de la conservation, du relevé d'art pariétal, ainsi que ceux liés à éclairage ou à l'accès aux panneaux ornés [Bea, 2013].

La documentation a fait d'abord usage de calques manuels sur lesquels étaient distingués divers types de données à inventorier. Progressivement, des photographies ont été associées à ces calques. Ensuite, à partir des années 1990, grâce à l'expansion d'outils numériques et géomatiques, les chercheurs ont pu employer des calques numériques. Tout un chacun

pouvait ainsi entreprendre une analyse technique et informative sans formation préalable en gestion géomatique.

La documentation par les calques présente toujours une composante subjective liée à la personne qui réalise les relevés. Avec les systèmes actuels, l'utilisation des divers outils tend à l'obtention d'une image de l'ensemble rupestre qui se veut plus objective. Mais elle est aussi beaucoup plus dense, plus riche, plus diversifiée. Il est ainsi nécessaire, dans la documentation géométrique, d'appliquer des méthodes parfois différentes en fonction de chaque objectif prédéfini. L'interprétation nécessite désormais une gestion complexe de l'information. Aujourd'hui, il peut paraître paradoxal que, dans une société dite « de l'information », le problème principal soit la gestion de la masse d'information générée.

Dans la première décennie du XXI<sup>e</sup> siècle, nous nous sommes focalisés sur les techniques tridimensionnelles. Elles référaient à une évolution très rapide des méthodes et des instruments qui a conduit à leur inféoder nos objectifs. Il en découle, y compris dans le domaine des logiciels, une subordination progressive des résultats.

Il est probable que cette subordination, et peut-être certaines normes induites, aient des causes plus commerciales que techniques. Plus il y aura, dans la société, de personnes susceptibles de gérer ce type d'information, plus se réduira la fracture apparue entre phase

d'acquisition et phase d'interprétation des données. Cela s'apparente à un processus de démocratisation de la 3D. Dans l'intérêt de la communauté scientifique comme dans celui du public, il faut se donner les moyens de mettre à disposition de tous les données obtenues et la possibilité de les gérer. Cela permet aussi d'assurer une grande diffusion des œuvres des sites ornés paléolithiques, auxquels un large public a rarement accès. On peut espérer, en retour, une meilleure compréhension de ce patrimoine exceptionnel, une préoccupation plus affirmée de sa conservation et, plus généralement, un plus grand intérêt de la société à l'égard de ces témoignages des premières activités humaines.

En outre, dans le cadre de ce processus, plusieurs questions s'imposent déjà à nous. Par exemple, celle de la pérennité des logiciels et des formats utilisés, celle de la nécessité de créer des formats de fichiers d'échange « non-propriétaires », celle du stockage de la masse d'informations générée, ou celle consistant à identifier un ou des plafonds en matière de définition (figure 4).

##### 1. Normalisation des modèles tridimensionnels et utilisation des métadonnées

Dès la préhistoire, un des objectifs de l'Homme a été la représentation graphique d'idées, de concepts, en prenant appui sur un support, la paroi en l'occurrence. Cette représentation sert

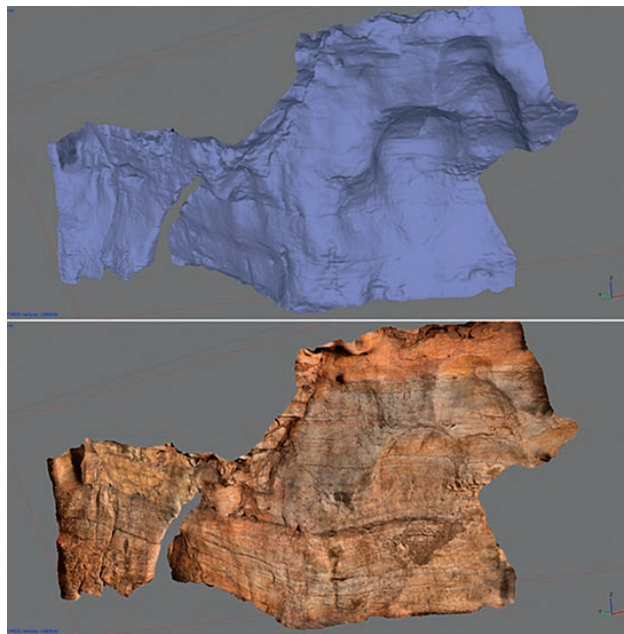


Figure 4: Processus de construction et de texturation de la maille tridimensionnelle de la diacase ornée de Roucadour dans un modèle compatible avec un logiciel libre. Document : Scanner Patrimonio e Industria.  
Process of construction and texturing of the 3D mesh of the decorated fissure of Roucadour with a model compatible with a shareware program.



aujourd'hui de source documentaire, y compris concernant l'œuvre elle-même mais aussi son contexte. Ainsi, vouloir extraire l'œuvre de son environnement pose une question de sens. Il nous faut percevoir le concept de documentation géométrique, en tentant d'y inclure tous les éléments essentiels qui nous permettent de comprendre d'un point de vue global, l'environnement physique dans lequel l'œuvre est intégrée.

Concernant la définition des méthodes adéquates, Valle [2007, p. 155] avance des propositions conceptuelles pour la « mise en place de critères d'organisation et de normalisation des résultats de la documentation géométrique du patrimoine ». Afin d'améliorer la gestion des informations obtenues, il est nécessaire de s'éloigner du stade où, sans se préoccuper d'établir des standards, l'instrumentation et la méthodologie utilisées pour chaque projet sont soigneusement décrites. La rareté de ces processus normalisés, y compris ceux liés à la géométrie, aux résolutions employées, ou aux données archéologiques, a donné lieu à une moindre utilisation *a posteriori* de toutes les ressources acquises. Nous ne connaissons que quelques exemples de recommandations de base, telle celles du Committee for Documentation of Cultural Heritage (CIPA) qui est destinée au domaine de l'architecture, ou telle la Charte de Londres ([www.londoncharter.org](http://www.londoncharter.org)) sur la visualisation des informations tridimensionnelles.

L'exemple du bloc de la grotte d'Abauntz (Navarre, Espagne) permet de percevoir l'importance de l'utilisation des métadonnées. Sur ce bloc, datant du Magdalénien (13 660 cal. BP), des micro-gravures représentent divers zoomorphes et l'environnement immédiat de son lieu de découverte [Utrilla et al., 2009, p. 99-111]. Ce bloc est, en Europe de l'Ouest, le plus ancien exemple connu de représentation cartographique sur support mobilier. Il perdrait son sens s'il était privé du contexte culturel auquel il appartenait. Il a donc une relation directe avec la culture matérielle, et donc avec les unités stratigraphiques et l'environnement où il a été trouvé. Nous pouvons établir un parallèle entre les données de contextualisation archéologique, et les différentes métadonnées de la représentation de l'environnement inscrite sur le bloc. Ces métadonnées sont l'outil clé qui explique comment, où, et quand a été réalisée cette représen-

tation. Ignorer cette information codée conduit à une décontextualisation de l'objet et donc une perte presque totale de l'information induite. La pérennité et l'interconnexion de l'information seront, dans les années à venir, un des domaines importants à développer. Par conséquent, il est essentiel de décrire en profondeur le processus de documentation fait à Roucadour et à Niaux afin d'avoir une traçabilité de l'information. Il a été réalisé sur les bases suivantes :

#### a) Enregistrer l'état actuel du complexe rupestre

Nous avons appliqué la métaphore conceptuelle du terme industriel « tel que construit ». Nous nous sommes appuyés sur les processus d'enregistrement utilisés dans d'autres disciplines : l'ingénierie, l'industrie, les études environnementales. Dans ces domaines, une grande standardisation permet la vérification et le contrôle de la méthode, garantissant ainsi l'authenticité du registre réalisé. Tout en sauvegardant certaines spécificités, voire certains anachronismes liés à notre discipline ou à des disciplines connexes, établir des similitudes et des comparaisons avec d'autres domaines peut aider à organiser et gérer l'information. Sur ces derniers points, tester et échanger des méthodes de travail est un des objectifs des années à venir. Dans un premier

temps, la compilation des données tridimensionnelles concerne l'acquisition d'un registre réel. Il en sélectionne des détails enregistrés via la création d'une base de données probante. Ainsi, il est possible d'introduire des variations permanentes d'échelle adaptées à chaque type de critère scientifique et à chaque niveau d'étude et d'analyse. Nous pouvons alors disposer de détails millimétriques permettant l'étude de gravures ou d'autres types de traces, mais aussi de leur situation dans l'espace immédiat ainsi que dans le macro- environnement.

#### b) Appliquer des standards dans le processus de documentation

Des procédures doivent permettre des vérifications et un contrôle de qualité. Ainsi, en étant capable d'en analyser chaque phase, on facilite la compréhension de la chaîne qui aboutit au résultat final. Pour normaliser les données acquises il est nécessaire de s'appuyer sur une génération d'applications compatibles avec des logiciels simples et aisément accessibles. Cela permet de simplifier la gestion du registre tridimensionnel, tout en restant compatible avec le double objectif d'utilisation scientifique et de diffusion publique. Un exemple lié à l'art rupestre, est le projet ARAM [Art rupestre et Accessibilité Multimédia - Angás, Bea, 2013, p. 131], où, dans un serveur web,

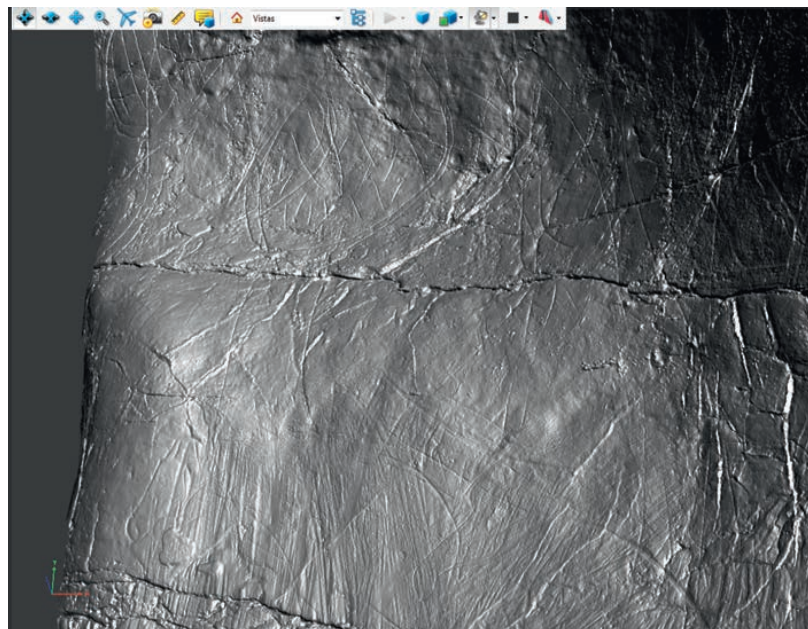


Figure 5: Maille de chaque panneau au format \*.vrm transformé en \*.pdf (3D). Dans l'image on a fait abstraction de la texture pour mieux faire ressortir les gravures. Grotte de Roucadour. Document : Scanner Patrimonio e Industria. Mesh of each picture in the format \*.vrm transformed in \*.pdf (3D). In the image, texture was abandoned in order to see the scratches in a better way. Roucadour Cave.

les informations tridimensionnelles ont été mises en valeur en mode dynamique par le biais d'applications gratuites (<http://proyectoaram.tecnitop.com>). Ainsi, directement sur le web, et tout en offrant une lecture interactive animée, il est possible de combiner les spécificités de chaque ensemble orné, des modèles tridimensionnels, des images sphériques aériennes de l'environnement du site et des images capturées lors des missions d'enregistrement 3D.

La normalisation (unification, simplification et spécification) du processus de documentation que nous avons utilisé à Niaux et à Roucadour a trois principes de base [Valle, 2007, p. 155] quelle que soit la technique : l'accessibilité, l'intelligibilité et l'utilité géométrique. Il est nécessaire d'investir dans des formats communs et interchangeables de logiciels libres aisément utilisables. La pérennité de la composante métrique, destinée à obtenir des mesures et à disposer de coordonnées, nous différencie aussi d'autres types des résultats, plus liés à des infographies où la géométrie a été perdue en raison de scénarios virtuels plus attractifs ou moins coûteux (figure 5).

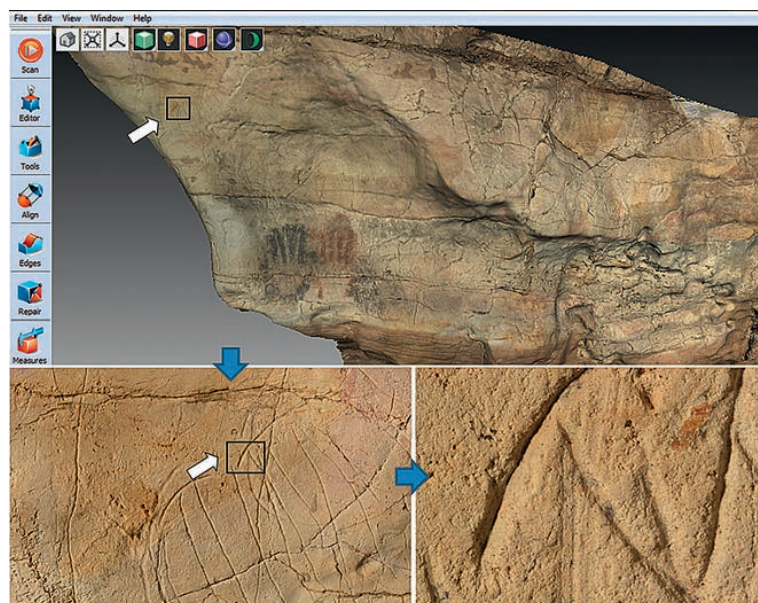
## 2. Accès à l'information et facilité d'utilisation

L'objectif est ici d'engager un processus de « démocratisation » des résultats 3D pour en permettre la diffusion. Il s'agit donc de créer des bases de données compatibles avec des environnements web aisément configurables à différents degrés d'accès et d'édition. La visualisation de tout élément à toute échelle est ainsi rendue accessible, rapidement et avec précision, tout en incluant ses composantes géométriques.

Nous avons produit des formats classiques et interchangeables compatibles avec des logiciels libres aisément utilisables. Cela facilite la compréhension, et donc la conceptualisation de l'information tridimensionnelle.

Ainsi, en tentant de résoudre des lacunes méthodologiques et de faciliter la conceptualisation tridimensionnelle, on contribue à l'étude scientifique interdisciplinaire, et on favorise la valorisation et la diffusion de l'information obtenue.

Des symposiums ont eu lieu sur ce thème, y compris dans le domaine de l'archéologie, tels *ArcheoFoss 2014* à Vérone (Italie) sur les formats dits « open source »<sup>1</sup>. Parmi les logiciels libres de traitement et d'édition de maillages tridimensionnels, un exemple connu est développé par le *Consiglio Nazionale delle Ricerche* (CNR) à Pise, sous le nom de Meshlab. Quant à l'utilisation des métadonnées en archéologie, on se reportera à quelques références sérieuses<sup>2</sup>.



De nombreux logiciels libres concernent pratiquement tous les aspects liés à ce type de documentation<sup>3</sup>.

Les résultats fournis pour la documentation de Roucadour et de Niaux concernent deux ensembles majeurs de données : le domaine métrique et le domaine graphique. Bien que leur acquisition ait été différente, ces domaines doivent, dans le cadre de leur utilisation scientifique, être analysés comme un ensemble unique.

### a) Le domaine métrique

#### • Modèles 3D.

Ils sont fournis dans des formats libres, et ce pour toutes les phases de traitement allant du nuage de points jusqu'aux mailles triangulaires texturées. Ils donnent la notion de volume, mais aussi, par exemple, le point de regard de l'artiste qui a créé les œuvres pariétales. Ils constituent également le fichier original du registre qui permettra de comparer diachroniquement les évolutions morphologiques.

#### • Orthophotographie géoréférencée à haute résolution.

Elle est obtenue grâce à une projection du modèle tridimensionnel. Cette production permet, en appui du 3D, d'analyser tout détail avec précision (figure 6).

#### • Planimétries.

De fait, la culture méthodologique de bien des chercheurs exige une visualisation bidimensionnelle sur papier. Il a donc été retenu, en partant des orthophotographies du modèle 3D, de produire des plans et des sections en capturant, à l'aide des données altimétriques, l'espace tridimensionnel sur un support bidimensionnel (figure 7).

Figure 6 : Détail d'une orthophotographie obtenue dans le modèle 3D de Roucadour avec une résolution où chaque pixel correspond à 84 microns. Document : Scanner Patrimonio e Industria.

*Detail of an orthophoto taken from the 3D model of Roucadour, with a resolution of each pixel corresponding to 84 micrometers.*

1. Colloque *Free, Libre and Open Source e Open Format nei processi di ricerca archeologica*. Livre des résumés [http://caaconference.org/wp-content/uploads/sites/14/2015/04/Book-of-Abstracts\\_CAA2015.pdf](http://caaconference.org/wp-content/uploads/sites/14/2015/04/Book-of-Abstracts_CAA2015.pdf). Publication des actes annoncée.

2. <http://archaeologydataservice.ac.uk> (Université de York), ou <http://www.europeana.eu> (le projet Europeana).

3. GLC Player, Meshlab, CloudCompare, Image Composite Editor, Arc 3D, Robotics Lab, Photosynth, 123D Catch, CatMEdit, GVSig, etc.



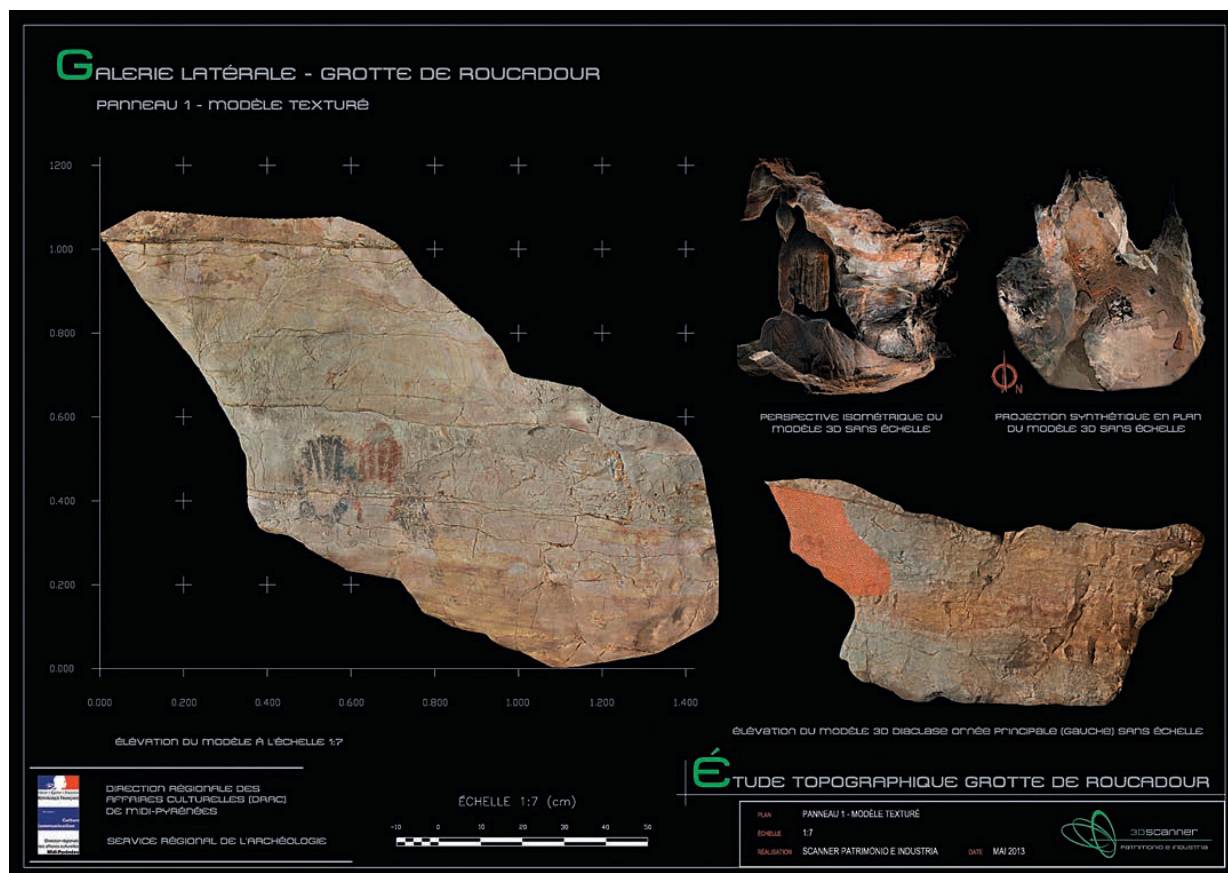


Figure 7 : Détail d'un plan réalisé à Roucadour combinant levés, plans, et vues isométriques du modèle 3D. Document : Scanner Patrimoine e Industria. *Detail of a map of Roucadour combining topography, maps, and isometric views of the 3D model.*

- **Visualiseur html.**

Il permet de localiser facilement des coordonnées dans le système Lambert 93 par le biais d'un logiciel libre. Il permet de mesurer des distances sur le modèle tridimensionnel (figure 8).

- b) Le domaine graphique**

- **Photos RAW et images sphériques.**

Elles sont acquises pour chaque station de mesure des scanners fixes et induisent une composante spatiale très riche.

- **Visualiseur graphique.**

Il permet de regrouper les différents types de données acquises dans le processus d'enregistrement afin de les mettre en valeur par le biais d'un serveur web.

D'autres domaines sont concernés :

- **Gestion des données.**

Nous avons intégré un encodage utilisant des métadonnées avec des fichiers xml afin de stocker les informations

enregistrées, qu'elles soient de type descriptif, administratif, ou technique. Il s'agit là d'un outil important pour la gestion de la documentation géométrique de l'art rupestre.

- **Traitement numérique des orthophotographies.**

Les orthophotographies des panneaux ornés ont été traitées au moyen du logiciel ImageJ à l'aide d'un plugin dénommé DStretch. C'est un outil d'amélioration d'images multispectrales employé dans la télédétection. Il a ensuite été développé pour l'étude de l'art rupestre peint [Harman, 2005]. Cette application permet l'observation des images au moyen de l'augmentation de la saturation des couleurs, en appliquant la transformation Karhunen-Loève (KLT) et en analysant une matrice de covariance pour les couleurs présentes sur le cliché. Elle produit une image de couleur faussée, avec de grandes variations dans le contraste des tons. Elle permet une vision plus claire d'un motif ou d'une composition. Chaque image se transforme indépendamment l'une de l'autre, car chaque photographie dispose d'une distribution spécifique des couleurs liée

au support rocheux et aux pigments préhistoriques utilisés.

Dans quelques cas, au vu des dimensions et de la résolution des images, un découpage de l'image en plusieurs carrés a été réalisé, afin de faire un traitement spécifique de chacun d'entre eux. Un remontage de ces photos-carrés a ensuite été effectué. Nous avons ainsi amélioré une lecture des panneaux et de leurs contenus, en rehaussant les teintes naturelles de la roche et celles des pigments paléolithiques.

- **Création de serveurs web**

Le produit livré permet, outre les données métriques, d'intégrer dans un serveur web, la composante graphique, qu'elle soit totale ou partielle. Il sera alors possible d'interagir, dans une grotte virtuelle, avec d'autres informations, en activant des fonctions de positionnement par des systèmes gyroscopiques mobiles intégrés à des logiciels libres (figure 9).

### 3. Utilisation des données géométriques

Elles doivent être réalisées et présentées par le biais de normes qui en



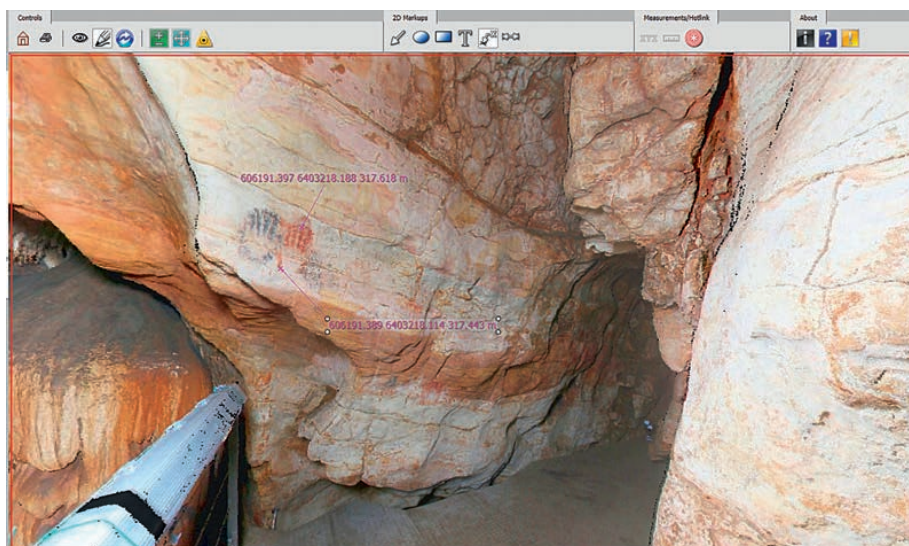


Figure 8: Viseur métrique permettant l'obtention de mesures et de coordonnées. Document : Scanner Patrimonio e Industria.

*Metric visor allowing to get measurements and coordinates.*

permettent la vérification, et informent, de leur précision et de leur définition. La composante métrique sert à obtenir des mesures et localiser des coordonnées. Elle est la base de toute utilisation du modèle 3D. Toujours à partir d'un même fichier documentaire, mais via des ordres logiques variés, elle doit permettre de tirer profit du modèle 3D tout en respectant les différentes finalités, qu'elles soient scientifiques ou médiatiques.

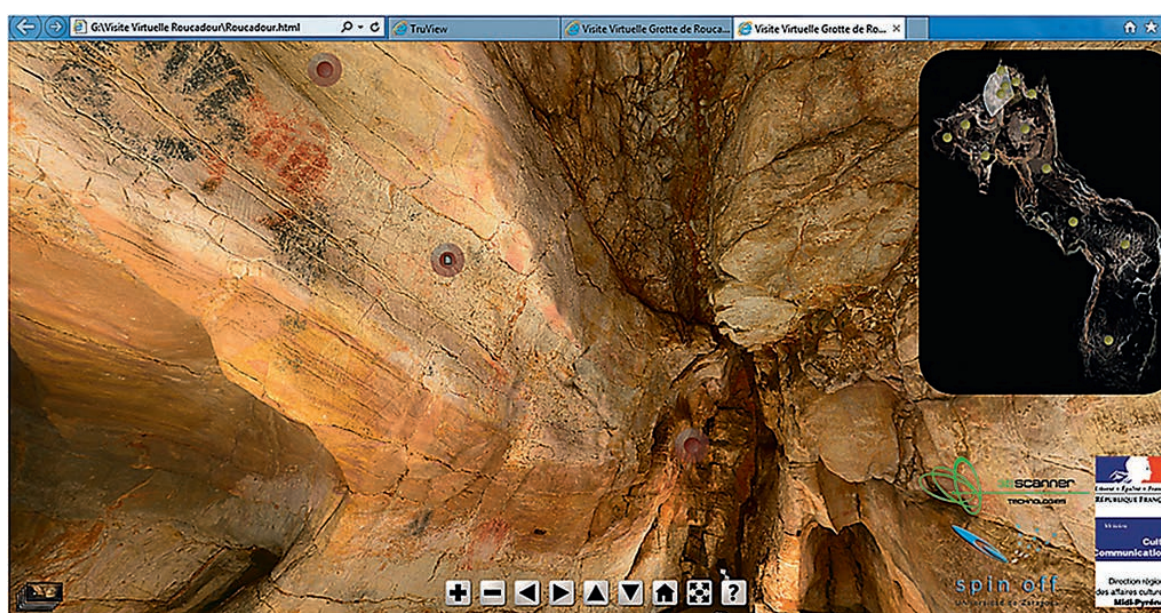
Adossée à un travail d'équipes pluridisciplinaires prenant appui sur le modèle tridimensionnel, cette documentation pourrait être un outil d'évolution de l'actuelle culture méthodologique bidimensionnelle des chercheurs vers une conceptualisation 3D de leurs modes d'analyse.

## B. Quelques aspects juridiques du cadre réglementaire d'utilisation des documents

Les métadonnées, données, photographies, applications, issues des opérations de documentation 3D sont conçues comme une ressource numérique disponible. Le cahier des charges produit à l'appui de la consultation ouverte auprès des prestataires explicite clairement que les produits livrables sont susceptibles d'être ultérieurement utilisés par la personne détentrice de la propriété du support pour des développements, extensions ou utilisations aux fins de recherches ou de diffusion.

Toutefois, la question des « clones informatiques » amène à des interrogations qui sont loin d'être toutes levées. Elles concernent les

Figure 9: Fichier exécutable programmé pour une visualisation graphique de la grotte en combinant informations métriques, graphiques et explicatives. Document : Scanner Patrimonio e Industria. Executable file programmed for a graphic visualization of the cave, combining metrical information, graphics, and explanations.



implications quant au droit à l'image, au droit d'auteur, à la propriété intellectuelle. On peut tenter, sur la base des exemples traités, de dessiner quelques orientations très générales. La numérisation des œuvres patrimoniales ne modifie en rien leur nature. Autrement dit, pour prendre l'exemple des travaux de photographie ou de photogrammétrie, s'insérant ou non dans un travail de relevés par scanner dans une grotte ornée, le droit à l'image du propriétaire du fonds de terre au sein duquel se développe la cavité demeure entier.

Les données brutes ne sont pas protégées par le droit d'auteur. Ce qui signifie que l'acquisition par un système technologique, de métadonnées et de données, mise en œuvre par un prestataire, n'institue pas ce dernier en tant qu'« auteur ». Ce, d'autant moins que l'objectivité de l'acquisition des données et des images est un élément du cahier des charges de la prestation. La forme des produits livrés contre rémunération est strictement prédéterminée par le commanditaire. La destination est clairement désignée comme utilitaire (archive numérique). Quant à la notion de « clone informatique », elle suggère celle de « copie » la plus conforme possible à l'original. Elle semble exclure, de ce fait, toute « invention », « création » ou intervention de quelque subjectivité individuelle que ce soit de la part de l'opérateur. Le principe même requis et exigé pour les prises de vues réalisées lors de l'opération de documentation 3D est l'objectivité scientifique et la neutralité « technique » de l'opérateur. Il agit dans le cadre d'un cahier des charges précis, préalablement défini et sous le contrôle

permanent sur site pendant la durée des travaux d'un archéologue missionné par le commanditaire.

La question des bases de données susceptibles d'être ultérieurement élaborées est plus délicate car elle touche à l'appréciation de l'originalité de l'« œuvre ». Dans l'approche jurisprudentielle et traditionnelle qui prévaut en Europe, seule une œuvre qui porte la marque de la personnalité de son auteur doit être considérée comme originale. À cette conception s'oppose celle du copyright qui a connu des applications dans le domaine des logiciels et dans une certaine mesure dans celui des bases de données [Perez, 2000]. Dans cette optique, c'est moins la perception, somme toute subjective, de l'originalité personnelle distinguable dans la production, que les preuves démontrables de l'investissement personnel individualisé et le déploiement d'énergie produit pour la réalisation d'un travail, qui scellent sa véritable originalité.

On peut également avancer que constitue bien une œuvre de l'esprit la réalisation d'une visite virtuelle d'une grotte ornée, sur support média, film, DVD ou disponible sur le web, dans laquelle le produit exporté à partir de la scanographie originelle est assorti d'un travail individualisé de lecture des images, fondé sur une recherche personnelle, documenté par des interprétations originales graphiques et complété de commentaires parlés ou écrits. Dès lors, détenir la propriété du support ne signifie aucunement détenir par ce seul fait, la propriété sur l'œuvre, et ne permet pas de la représenter, sans en avoir, au préalable requis l'accord de l'auteur.

## Conclusion

En conclusion, il est nécessaire de réfléchir aux moyens de recueillir et d'assembler les changements technologiques continus et de les appliquer correctement, en développant une méthode scientifique spécifique à l'art rupestre. Il ne s'agit pas de faire un état des lieux, mais de faire corps avec des évolutions constantes, ce qui exige une mise à jour continue. L'innovation technologique a progressé beaucoup plus vite que notre connaissance méthodologique de ses applications. Cette dernière s'est coupée d'un corpus de procédures organisées. Pour éviter l'impasse où tend à nous conduire la segmentation entre processus d'acquisition, processus de transmission, et processus d'utilisation de la documentation géométrique de l'art rupestre, il paraît nécessaire de miser sur une approche coordonnée pluridisciplinaire qui rassemble tous les professionnels concernés.

Au contraire de l'utilisation simple du papier et du crayon, ou encore de l'appareil photographique, la documentation géométrique de l'art rupestre ne peut pas être un outil mis en œuvre par des tiers, et réutilisable sans souci d'adaptation à chaque problématique spécifique et à chaque site. L'utilisateur doit en être désormais le co-concepteur.

Il est indispensable que les commanditaires disposent au cas par cas d'un cahier d'objectifs bien identifiés, afin d'établir des cahiers des charges très précis, seuls susceptibles de garantir la conformité du produit au résultat souhaité, mais aussi la fourniture de données informatiques effectivement utilisables et pérennes.

## Bibliographie

**ANGÁS J., 2013** - Nuevas técnicas de documentación geométrica y análisis del arte rupestre. *Jornadas técnicas para la gestión del arte rupestre*, Patrimonio Mundial. Barbastro, p. 61-71.

**ANGÁS J. and SERRETA A., 2009** - Assessment, dissemination and standardization of geometric data recording of Archaeological Heritage obtained from 3D laser scanning. *Virtual Retrospect* 2009. Bordeaux, p. 187-193.

**ANGÁS J. y BEA M., 2013** - Propuesta conceptual y metodológica en la documentación gráfica y geométrica del arte rupestre: Proyecto ARAM. *Mensajes desde el pasado. Manifestaciones gráficas de las sociedades prehistóricas*. Nerja, p. 131-136.

**AUJOLAT N., 1993** - L'évolution des techniques. *L'Art Pariétal Paléolithique, Techniques et Méthodes d'étude*. Paris, p. 317-327.

**BEA M., 2013** - Documentando el arte rupestre pictórico en Aragón. *Jornadas técnicas para la gestión del arte rupestre*, Patrimonio Mundial. Barbastro, p. 53-59.

**BEA M. and ANGÁS J., 2014** - Laser scanning for conservation of the Levantine Rock-Art in Aragon (Spain). *Open-air rock art conservation and management: state of the art and future perspectives*. Darvill, T. et Batarda, A.P. (eds.).

**BEDNARIK R. G., 2007** - *Rock Art Science. The scientific study of Palaeoart*. Aryan Books International, New Delhi.

**BELTRAN A., 1973** - La cueva de Niaux. *Monografías arqueológicas*, 16. Zaragoza, 275 p.

**BREUIL H., 1910** - Nouvelles découvertes en Espagne. *L'Anthropologie*, t. XXII, p. 247 et 356.

**CAMUS H., 2005/2006** - Etude géologique et géomorphologique préliminaire de la grotte ornée de Roucadour. In: *Rapport réglementaire de relevé d'art pariétal de M. Lorblanchet*. DRAC Midi-Pyrénées.

**CLOTES J., 1995** - *Les cavernes de Niaux*. Ed. du Seuil, Paris, 179 p.

**HARMAN J., 2005** - Using decorrelation Stretch to enhance rock art images. *American Rock Art Research Association Annual Meeting*, Reno.

**LODEIRO J. M., 1995** - *Aplicaciones de la topografía en la documentación arquitectónica y monumental*. Colegio Oficial de Ingenieros Técnicos en Topografía. Madrid.

**LORBLANCHET M., 2010** - *Art pariétal, grottes ornées du Quercy*. Ed. du Rouergue, 447 p.

**MARTÍNEZ M., ANGÁS J. y SEBASTIÁN M., 2010** - *Metodología. Las pinturas rupestres del Abrigo de La Vacada (Castellote, Teruel)*, Monografías arqueológicas prehistoria, 43. Zaragoza, p. 33-41.

**PEREZ P., 2000** - *Droits d'auteur et production institutionnelle. Intervention du 15 septembre 2000*. Disponible sur: <e-materials.ensiacet.fr>, 20 p.

**UTRILLA P., MAZO C., SOPENA M., MARTÍNEZ BEA M. and DOMINGO R., 2009** - A paleolithic map from 13660 cal. BP: engraved stone blocks from the Late Magdalenian in Abauntz Cave (Navarra, Spain). *Journal of Human Evolution*, 57, p. 99-111.

**VALLE J.M., 2007** - *Documentación Geométrica del Patrimonio: propuesta conceptual y metodológica*. Tesis doctoral inédita. Universidad de La Rioja.