

## RÉSUMÉS DE THÈSE

**Armance JOUTEAU (2021)** – *Grottes ornées paléolithiques : espaces naturels, espaces culturels, art et déterminisme. L'apport des modélisations, l'exemple de Lascaux et de Cussac*, thèse de doctorat soutenue le 26 mars 2021 à l'Université de Bordeaux devant le jury composé de Sophie A. de Beaune (rapporteur), Vincent Gibiat (rapporteur), Pablo Arias (président et examinateur), Valérie Feruglio (invitée et encadrante), Jacques Jaubert (directeur), Stéphane Jaillet (examinateur), Delphine Lacanette (directrice) et Éric Robert (examinateur).

Ce travail de recherche a été l'occasion d'adapter des outils préexistants de simulation numérique de l'éclairage et de l'acoustique au contexte fortement contraint des grottes ornées. Le but était d'apporter un renouvellement méthodologique à la question de l'investissement du milieu souterrain au Paléolithique. En effet, l'acoustique et l'éclairage ont une influence décisive dans les interprétations, mais les conditions actuelles d'accès aux sites et les modifications de l'espace naturel empêchent d'en retrouver la perception préhistorique.

### Corpus d'étude

Pour ce faire, nous avons choisi d'étudier deux grottes ornées de Dordogne : Lascaux (env. -20 500 cal BP ; Ducasse et Langlais, 2019) et Cussac (env. -30 500 à -28 500 cal BP ; Jaubert *et al.*, 2017).

En effet, elles disposent toutes deux d'un modèle 3D, indispensable aux simulations, et sont complémentaires sur plusieurs points, ce qui a permis de confronter les outils à des contextes variés. Ainsi, Cussac est constituée d'une unique mais très longue galerie d'environ 1,6 km de long quasi exclusivement dévolue à une gravure large et profonde. Sa découverte récente (2000), suivie par la mise en place d'un projet collectif de recherche (dir. J. Jaubert) toujours en cours, ont permis la préservation du site et son étude par une équipe pluridisciplinaire, cependant la cavité n'est à l'heure actuelle que partiellement modélisée.

À l'inverse, le modèle 3D de Lascaux est complet et présente une topographie variée constituée de galeries, de salles, de secteurs retirés, etc. Sa découverte plus ancienne (1940) a été suivie par une exploitation touristique intensive qui a fortement modifié l'aspect interne de la cavité, conduisant à sa fermeture, y compris aux recherches archéologiques. Une restitution 3D de son état à différents moments de son histoire est en cours à travers le projet MicroPago (dir. D. Lacanette).

Enfin, nous avons également eu accès à une grotte non ornée, la grotte de Leye, en Dordogne, et à une carrière souterraine, Lugasson, en Gironde, où des mesures et expérimentations ont pu être réalisées presque libres de toutes contraintes.

### Matériel et méthode

Les logiciels *Icare* (Noé *et al.*, 2012) et *Phanie* (Carré *et al.*, 2000) sont respectivement des logiciels de simu-

lation numérique d'acoustique et d'éclairage dans des volumes complexes ouverts ou fermés développés au CSTB (Centre Scientifique et Technique du Bâtiment). Ils sont habituellement utilisés dans le cadre d'environnements architecturaux modernes (bâtiment, automobile, aéronautique, extérieurs urbains, etc.). Nous les avons sélectionnés pour leur capacité à reproduire sons et éclairages dans des modèles 3D complexes à partir de données physiques personnalisables.

Une part importante de cette thèse a donc été dédiée à l'adaptation de ces outils à des sites complexes, tant du point de vue naturel que patrimonial.

La méthode mise en place consiste tout d'abord en l'analyse des propriétés acoustiques et optiques des matériaux présents dans les grottes étudiées afin de les implémenter aux logiciels de simulation. Pour cela, des mesures ont été réalisées sur le terrain (mesures spectrales et de réponses impulsionnelles dans les grottes de Cussac et de Leye) et en laboratoire (mesures spectrales et de l'absorption acoustique sur des échantillons). En parallèle à ces mesures, nous nous sommes appuyée sur les travaux du projet MicroPaGO qui a proposé une hypothèse de restitution de l'ensemble de Lascaux au moment de sa découverte (septembre 1940) et de l'entrée et de la Salle des Taureaux au Pléistocène (p. ex., la hauteur des sols a été modifiée pour correspondre au niveau archéologique, les spéléothèmes récents ont été supprimés, etc.).

Dans un second temps, il a été nécessaire d'enregistrer les caractéristiques des sources utilisées. Pour cela, des éclairages préhistoriques ont été reproduits afin d'en mesurer l'éclairement et la production spectrale. Les sources sonores utilisées correspondent à un son ponctuel préenregistré dans *Icare*, soit une source sonore neutre.

Enfin, l'ensemble de ces données a été intégré aux logiciels *Icare* et *Phanie*.

### Principaux résultats

De nombreuses simulations acoustiques et d'éclairages ont été réalisées, permettant par exemple de tester la perception des couleurs en fonction de l'éclairage choisi (torche ou lampe), les distances de visibilité de certains panneaux, ou encore les qualités acoustiques des espaces, ce qui a permis de pousser les interprétations concernant les modalités d'élection et d'occupation de ces deux grottes.

## Lascaux

À Lascaux, les simulations ont essentiellement été réalisées dans la reconstitution 3D de la Salle des Taux paléolithique (selon une hypothèse proposée par le projet MicroPaGO, dir. D. Lacanette).

Les simulations de l'éclairage ont démontré l'efficacité des lampes à graisse. Ce type d'éclairage tire son intérêt dans la possibilité d'être posé et de libérer les mains pour d'autres activités, ainsi que pour sa durée de vie, illimitée tant que de la graisse est régulièrement ajoutée dans la lampe. C'est cependant un éclairage peu puissant, qui peut être difficile à utiliser lorsque les parois sont sombres ou les lieux trop vastes, ce qui n'est pas le cas à Lascaux.

Les simulations acoustiques montrent que cet espace est marqué par une réverbération assez longue (entre 2 et 3 s) et, selon des critères acoustiques modernes, semble plus appropriée à des effets musicaux qu'à la diffusion de la parole (C80 compris entre -2 et +0,5, mesures que l'on retrouve notamment dans des salles de concerts symphoniques, et D50 moyen toujours inférieur à 40 % alors qu'on estime qu'une bonne intelligibilité des voix nécessite au moins 50 %).

À Lascaux, la présence de parois couvertes de calcite propices à la peinture a souvent été proposé comme une raison de l'élection du site. Les qualités acoustiques, tout aussi particulières, auraient également pu être un argument en faveur de son investissement. Les installations longues, nécessaires à la construction du dispositif pariétal, ou lors d'occupations pour d'autres motifs, ont été rendues possibles par l'efficacité des lampes dans ce site, ce qui a aussi pu être un argument en faveur de son élection.

## Cussac

Les simulations ont été effectuées à partir d'un modèle 3D partiel comprenant le secteur autour du Panneau de la Découverte, un des panneaux majeurs de la cavité, qui semble mis en scène de par sa disposition topographique. L'étude combinée de l'éclairage et de l'acoustique a permis d'apporter des informations sur les modalités de l'investissement de cet espace. Les simulations d'éclairage ont mis en évidence que deux secteurs autour de ce panneau permettent d'observer les gravures dans de bonnes conditions (l'ensemble du panneau est éclairé et les gravures sont visibles dans le sens de la lecture), montrant que la présence d'un auditoire y était possible, sans toutefois pouvoir le démontrer. Cependant, les modalités de l'éclairage utilisé restent à être précisées : lampes posées sous le panneau ou torche portée par le(s) graveur(s) ou le(s) observateur(s).

Les simulations acoustiques montrent que la parole semble être plus appropriée que la musique dans ce site.

Cela serait un indice en faveur de la présence de performances collectives narrées.

Les traces d'incursions dans Cussac sont fugaces, la majorité des panneaux ont pu être créés rapidement, le parcours est accidenté, la galerie très longue, ce qui semble aller en faveur d'incursions moins longues et/ou plus ponctuelles qu'à Lascaux. Mais surtout, d'incursions préméditées, et très préparées, par un nombre limité, donc sélectionné, d'individus.

## Conclusion

Ce travail a été l'occasion d'offrir une base méthodologique scientifique et rigoureuse sur laquelle poursuivre en ouvrant un nouveau champ de recherche avec l'utilisation d'outils de simulation numérique sur les modèles 3D de grottes ornées. Leur application a permis d'apporter des éléments de réflexion sur la perception du monde souterrain par les Préhistoriques et son influence sur les modalités de l'investissement de cet univers.

## Références bibliographiques

- CARRÉ S., DENIEL J.-M., GUILLOU E., BOUATOUCH K. (2000) – Handling Dynamic Changes in Hierarchical Radiosity Through Interaction Meshes, *Proceedings the Eighth Pacific Conference on Computer Graphics and Applications* (Hong-Kong, China, October 2000), 18 p. DUCASSE S., LANGLAIS M. (2019) – Twenty years on, a new date with Lascaux. Reassessing the chronology of the cave's Paleolithic occupations through new 14C AMS dating, *PALEO*, 30, 1, p. 130-147.
- JAUBERT J., GENTY D., VALLADAS H., CAMUS H., COURTAUD P., FERRIER C., FERUGLIO V., FOURMENT N., KONIK S., VILLOTTE S., BOURDIER C., COSTAMAGNO S., DELLUC M., GOUTAS N., KATNECKER É., KLARIC L., LANGLAIS M., LEDOUX L., MAKSUD F., O'FARRELL M., MALLIE J.-B., PIERRE M., PONS-BRANCHU E., RÉGNIER É., ET THÉRY-PARISOT I. (2017) – The chronology of human and animal presence in the decorated and sepulchral cave of Cussac (France), *Quaternary International*, 432, Part B, p. 5-24.
- NOÉ N., ROUGIER C., ROUCH J., SCHMICH I. (2012) – An hybrid beam and particle tracing with time dependant radiosity for accurate impulse response of rooms prediction, *Proceedings of the Acoustics 2012 (Nantes, avril 2012)*, Société française d'acoustique, p. 1417-1422.

**Armance JOUTEAU**  
UMR 5199 PACEA  
Université de Bordeaux  
Bâtiment B2  
CS 50023  
33615 Pessac Cedex  
armance.jouteau@gmail.com