

Martine Piguet

Les grottes ornées préhistoriques : de la conservation préventive à la valorisation d'un patrimoine

Mémoire rédigé pour l'obtention du Certificat. Cours de base en muséologie 2013-2014

Table des matières

LES GROTTES ORNEES PREHISTORIQUES : DE LA CONSERVATION PREVENTIVE A LA VALORISATION D'UN PATRIMOINE	1
I. INTRODUCTION	3
II. L'ART DES GROTTES ORNÉES	3
III. UN PATRIMOINE FRAGILE : LES CAUSES DES DÉGRADATIONS	4
A) LES DÉSTABILISATIONS THERMIQUE ET AÉRODYNAMIQUE	5
B) LES AMÉNAGEMENTS DESTINÉS AU PUBLIC	6
C) LES RUISSELLEMENTS	7
IV. LA CONSERVATION PRÉVENTIVE	7
A) L'ANALYSE DU MILIEU KARSTIQUE	8
B) LE CLASSEMENT DES SITES	9
C) LA FERMETURE	10
D) LES TRAITEMENTS	11
E) LES SIMULATEURS	12
V. LES GROTTES ORNÉES ET LA MUSÉOLOGIE : UNE VALORISATION DU PATRIMOINE	12
A) LES VISITES RÉDUITES	13
B) LE FAC-SIMILÉ	13
C) LA VISITE VIRTUELLE	14
D) LES MUSÉES	15
VI. CONCLUSION	15
VII. BIBLIOGRAPHIE	16

I. Introduction

Au cours du Paléolithique supérieur, plusieurs grottes situées principalement au sud de la France et en Espagne sont ornées de nombreuses peintures et gravures pariétales. Cet art attesté il y a plus de 30'000 ans en Ardèche (grotte Chauvet, Vallon-Pont-d'Arc) et encore plus anciennement dans le nord de l'Espagne, perdure pendant près de 20'000 ans.

La découverte de certaines de ces cavités à la fin du XIX^{ème} siècle, a tout d'abord posé le problème de leur authenticité au vu de leur impressionnante richesse et de la qualité des figurations. Cette reconnaissance acquise au début du XX^{ème} siècle a impliqué l'ouverture au public de ces sites ce qui a contribué à fragiliser leur équilibre précaire. Dès lors ces œuvres préhistoriques ont posé aux spécialistes des problèmes complexes quant à leur conservation et quant aux choix de leur valorisation.

Nous aborderons dans ce travail ce type très particulier d'œuvre en nous focalisant sur les cavités d'Europe occidentale qui offrent depuis plus de cinquante ans un terrain d'étude ayant permis de développer une connaissance spécifique du milieu souterrain. Après une brève introduction sur l'art pariétal paléolithique, nous présenterons les différents agents destructeurs menaçant ce patrimoine culturel, puis nous aborderons la conservation préventive permettant de maintenir en bon état ces espaces, avant de discuter les divers moyens de valorisation possibles.

II. L'art des grottes ornées

L'art pariétal regroupe les figurations peintes, gravées ou sculptées sur les parois des abris sous-roche ou des cavités. Parmi les nombreux sites d'art pariétal préhistoriques répertoriés dans le monde, la zone franco-cantabrique englobant le sud de la France et le nord de l'Espagne, montre une concentration inégalée de grottes qui témoigne d'une explosion de l'art à la fin du Paléolithique. A ce jour plus de 300 cavités renfermant des représentations ont été découvertes dans une région centrée sur le sud de la France et le nord de l'Espagne (figure 1). La vallée de la Vézère en Dordogne (France) comprend à elle seule 25 grottes ornées dont les plus connues sont Lascaux, les Combarelles, Font-de-Gaume.

Les datations réalisées le plus souvent grâce au carbone 14 permettent de situer les plus anciennes peintures rupestres vers 30'000 ans avant notre ère avec un essor à la période magdalénienne autour de 15'000 ans avant notre ère. Cette période généralement froide est caractérisée lors du maximum glaciaire par un abaissement du niveau de la mer et la présence de glaciers sur une partie de l'Europe. Les populations de chasseurs-cueilleurs nomades peuplent des zones dépourvues de glaciers dans un environnement de steppes herbeuses où dominent les graminées, le bouleau, l'aulne et le genévrier. Ces premiers Homo sapiens européens développent un art figuratif très diversifié sur les parois des cavités

mais également sur du mobilier en os, ivoire ou pierre, tel que des statuettes d'animaux ou de femmes, des plaquettes gravées et des outils (propulseurs, harpons, bâtons à trou).

Les représentations pariétales sont essentiellement des animaux avec une prédominance du cheval, bison, aurochs, cerf, renne, bouquetin, mammoth et plus rarement le rhinocéros laineux et le lion des cavernes (figures 2 et 3). On dénombre aussi des signes géométriques, l'être humain étant rarement représenté à part des mains en négatif ou en positif. Les peintures sont réalisées avec des ocres, constituées d'argile riches en oxydes de fer qui offrent une palette allant du jaune au rouge en passant par le brun. Le noir est constitué d'oxyde de manganèse ou de charbon de bois. Ces pigments utilisés en bloc ou broyés et mélangés à de la graisse ou à de l'eau, sont appliqués avec des techniques diverses : application avec les doigts, des baguettes en bois, des tampons en cuir ou de véritables pinceaux confectionnés en poils d'animaux, mais aussi en utilisant la technique du pochoir et du soufflage de la peinture par la bouche. Les gravures sont réalisées avec des outils en silex directement sur la paroi. Dans la majorité des cas, les grottes ornées ne correspondent pas à des lieux d'habitat.

Diverses théories ont tenté d'expliquer l'art pariétal. Etant donné que les figurations sont souvent réalisées dans des endroits éloignés de l'entrée et peu accessibles, et que le bestiaire représenté ne correspond pas aux animaux les plus chassés, on pense que l'art pariétal traduit un monde idéalisé fait de mythes et de croyances complexes.

III. Un patrimoine fragile : les causes des dégradations

La découverte de nombreuses figurations peintes dans des grottes datées du Paléolithique nous montre une exceptionnelle conservation naturelle pendant des milliers d'années dans un environnement pourtant difficile. En effet, avec une température avoisinant les 12°C et une humidité relative située entre 95 et 98%, les conditions environnementales des grottes ne sont pas favorables à la conservation d'œuvres peintes. Cependant, le fait que cet art ait été réalisé dans un milieu souterrain et dans des endroits cachés et peu accessibles l'a sans doute préservé de l'érosion et de la destruction. Certaines grottes ont en outre bénéficié de bonnes conditions de conservation suite à une obturation des accès due à des éboulements (grotte de Lascaux (Dordogne), grotte de Cougnac (Lot), grotte Chauvet (Ardèche)) ou à une remontée du niveau marin (grotte Cosquer (Bouches-du-Rhône)). Toutefois, suite à l'ouverture au public de ces espaces jusque-là préservés, des détériorations importantes ont provoqué une prise de conscience de la part des scientifiques et une remise en question de ces pratiques. Le cas médiatisé de la grotte de Lascaux, ouverte au public en 1940 et fermée en 1963 suite à de graves problèmes de conservation, a servi de véritable laboratoire

de recherche afin de cerner les agents destructeurs et de trouver les moyens de les combattre.

Plusieurs facteurs sont à l'origine des détériorations des peintures et gravures pariétales, parmi lesquelles on peut citer les déstabilisations thermique et aérodynamique du microclimat souterrain, les aménagements divers destinés au public, les fouilles et visites clandestines, l'éclairage et les ruissellements.

a) Les déstabilisations thermique et aérodynamique

De fortes amplitudes thermiques journalières et saisonnières au sein de la cavité ainsi que des écarts importants entre la température de l'air et des parois sont particulièrement nocifs. Les écarts les plus importants sont induits par les visiteurs qui génèrent de la chaleur et de la respiration ce qui augmente le taux d'humidité, celui-ci devant rester autour de 95 % pour éviter la condensation. L'évolution climatique extérieure engendre également un déséquilibre du climat souterrain qui se marque particulièrement entre les saisons chaudes et froides.

Les changements rapides de température et d'humidité de la cavité provoquent de la condensation qui génère un développement de micro-organismes ainsi qu'un état pulvérulent de la paroi dû à la corrosion de la calcite. Les effets de la condensation ont provoqué à Lascaux déjà 10 ans après son ouverture au public des voiles de calcite recouvrant certaines peintures que l'on a surnommé la « maladie blanche ». Ces concrétions blanchâtres appelées mondmilch résultent d'une réaction chimique provoquant la dissolution de la roche et la réprécipitation du calcium (figure 4).

La formation de calcite sur les parois est également provoquée par une teneur trop élevée en dioxyde de carbone dans l'atmosphère. Cette production de CO₂ provient de la respiration des visiteurs qui génère une acidification de la vapeur d'eau à l'origine de la corrosion de la paroi.

Les déstabilisations thermique et aérodynamique du milieu souterrain sont des phénomènes très complexes dont il est difficile de cerner tous les éléments. A Lascaux, en 2000, l'installation d'un nouveau système de régulation hygrothermique mal conçu provoque la prolifération de moisissures composées de divers champignons formant des taches noires et des taches blanches (figures 5 et 6) (Coye, éd. 2011). Ces souches de champignons peuvent être introduites selon plusieurs voies (eau de percolation, visiteurs, petits animaux) et leur germination est provoquée par des changements microclimatiques dans la cavité.

Comme nous le montre la figure 7, les changements brusques de température impliquent une stratification de l'air qui empêche la grotte de souffler et ne permet plus d'évacuer les particules présentes. Finalement c'est la présence humaine combinée à la stratification qui cause les problèmes de conservation : le taux d'humidité, le dioxyde de carbone, et la

pollution induits par les visiteurs ne sont plus évacués vers l'extérieur mais doivent se disperser dans les parois (Lacanette et Malaurent, 2010).

b) Les aménagements destinés au public

Suite à l'ouverture au public des grottes ornées, certains aménagements apportés jusque dans les années 1990 destinés au public ont constitué un facteur important de dégradation. Dans certains sites, des modifications significatives ont été apportées afin de faciliter leur visite. Par exemple, à la grotte de Gargas dans les Hautes-Pyrénées, l'entrée et les passages étroits ont été agrandis pour permettre la circulation des personnes et un tunnel est creusé pour relier deux cavités distinctes. Ces travaux ont rapidement provoqué un déséquilibre du micro-climat souterrain par des changements thermiques et aérodynamiques qui ont favorisé le développement de micro-organismes sur les parois (Bourges et al., 2010). Le même constat est fait à la grotte d'Altamira (Cantabrie, Espagne), où des murs et des piliers ont été construits afin d'éviter de nouveaux éboulements dans cette cavité connue pour sa fragilité. A Lascaux, quelques années après sa découverte, de gros travaux d'aménagement sont organisés afin de faciliter l'accès du public. L'entrée de la cavité autrefois entièrement obstruée est agrandie alors que des travaux dans la zone du porche détruisent le cône d'éboulis qui jouait le rôle de tampon thermique et hygrothermique ; des escaliers pour descendre dans la Salle des Taureaux sont installés et le niveau des sols est abaissé pour former un chemin de visite (figure 8).

L'installation d'un éclairage électrique fait généralement partie des aménagements réalisés afin d'accompagner le parcours de la visite. Un éclairage trop intense et continu de la cavité peut provoquer une pollution biologique due à l'émission de chaleur. L'effet du dioxyde de carbone couplé à l'augmentation des températures et à l'éclairage artificiel entraîne la prolifération d'algues comme c'est le cas à la grotte de Lascaux où la « maladie verte » fait son apparition en 1960.

Si ces aménagements sont à l'origine de changements thermiques et aérodynamiques néfastes pour les figurations peintes, ils peuvent provoquer aussi des destructions des vestiges archéologiques contenus dans le sol. Le pied des parois est en effet riche en informations car il peut contenir des empreintes de passages humains et des outils utilisés par les peintres. A cet égard, la grotte de Marsoulas en Haute-Garonne est un bon exemple de site détérioré par l'exploitation touristique mais aussi par les visites clandestines et les fouilles archéologiques anciennes qui ont gravement endommagé le sol à l'entrée de la cavité. De plus, les parois portent des marques d'impacts, de frottements et de ruissellements qui ont entraîné localement l'ablation des peintures et des gravures (Bourges et al., 2010). La grotte de Niaux en Ariège a également souffert d'explorations hâtives qui ont

provoqué le piétinement de nombreuses zones d'empreintes humaines (Chauvet et al., 1995).

c) Les ruissellements

Des facteurs naturels affectent la conservation des figurations avant même leur découverte. C'est le cas de l'eau de ruissellement qui peut causer des dégradations des peintures par la formation d'encroûtements calcaires. A la grotte de Marsoulas et dans celle d'Altamira, plusieurs figurations sont recouvertes de calcite (Fritz et Tosello, 2010, Coye, éd. 2011). Les crues des ruisseaux souterrains peuvent aussi affecter les peintures comme à Marsoulas où la partie basse de la cavité a subi des dégradations de ce type.

Lors d'épisodes pluvieux, la nappe phréatique peut déborder et se déverser dans les galeries. Selon la saison, cette eau peut être plus froide ou plus chaude que l'air de la cavité. A Lascaux, des mesures ont montré que la température de l'eau de la nappe fait varier la température de l'air jusqu'à 1°C (figure 9) (Coye, éd. 2011). Ainsi, l'eau circulant dans la grotte a un rôle majeur dans l'équilibre climatique de celle-ci. Lorsque la température de l'air augmente rapidement, de la vapeur d'eau se dépose sur les parois ce qui peut entraîner une disparition des peintures. Dans la grotte d'Altamira, la cause anthropique est cette fois-ci reconnue pour expliquer la présence de micro-organismes sur les parois. En effet, des analyses géochimiques ont montré que les eaux d'infiltration avaient été polluées par des épandages de fumier à proximité du site provoquant la prolifération de ces organismes.

Dans d'autres cas, des effondrements partiels des parois et les courants d'air ont entraîné une érosion naturelle et des détériorations irréversibles. Plusieurs grottes de la vallée de la Vézère témoignent d'écroulements de blocs peints comme l'abri Castenet, la grotte de la Ferrassie et l'abri Cellier (Lorblanchet, 1995). La grotte d'Altamira est caractérisée par une fragilité géologique qui entraîne des affaissements successifs des parois ayant déjà affecté les figurations.

IV. La conservation préventive

La conservation préventive est l'ensemble des actes destinés à prolonger la vie d'une œuvre d'art ou d'un objet d'art ; elle nécessite la recherche et l'élimination des causes de la dégradation. Cette démarche repose sur une déontologie définie dans la charte internationale sur la conservation et la restauration des monuments et des sites appelée "charte de Venise". Ce traité met en avant le respect du matériau d'origine, de l'aspect esthétique de l'œuvre et de la réversibilité des interventions.

Déjà en 1933, l'Abbé Breuil alerte la communauté scientifique sur la nécessité de préserver les grottes ornées (Breuil et Begouën, 1933). En effet, il constate une augmentation de la

condensation sur les parois de certaines grottes des Pyrénées due à l'ouverture de ces espaces au public. Il préconise les mêmes mesures déjà prises avec succès par les autorités espagnoles sur leurs grottes, à savoir la fermeture par des portes étanches en fer.

A cette période, l'impact négatif d'une exploitation touristique est partagé par plusieurs archéologues, comme Emile Cartailhac qui rachète la grotte de Marsoulas (Haute-Garonne) pour la protéger du public (Fritz et Tosello, 2010). Il faudra cependant la crise de Lascaux et sa fermeture d'urgence en 1963 pour que l'on reconnaisse la nécessité de mettre en place une conservation préventive spécifique aux grottes ornées.

a) L'analyse du milieu karstique

La conservation préventive commence par l'analyse du milieu karstique qui permet de juger les différentes méthodes de protection du site et d'évaluer sa capacité d'accueil. Elle comprend des études sur l'environnement géologique et hydrogéologique de la grotte qui incluent l'analyse du sol, du réseau de fissures, de la forme de la cavité, des zones noyées, de la circulation des eaux. L'analyse du milieu karstique s'inscrit aussi à l'échelle micro-régionale car la circulation des eaux de la cavité dépend du réseau hydrique environnant et des données climatiques (précipitations et évapotranspiration). Ces recherches sont essentielles à court terme pour agir sur les dégradations des figurations, mais aussi à long terme car elles constituent des archives importantes pour l'évolution du milieu souterrain.

A l'échelle locale, les paramètres physico-chimiques de la grotte sont analysés tels que les températures intérieures air-sol, la température extérieure, la pluviométrie, l'hygrométrie, la pression barométrique, ainsi que des marqueurs chimiques (teneur en CO₂). Ces mesures sont réalisées par des capteurs installés à différents endroits de la cavité (figure 10). La reconnaissance de ces paramètres est rendue complexe par le fait que les différentes parties de la grotte n'ont pas les mêmes propriétés de températures et d'humidité. A la grotte de Marsoulas (Haute-Garonne), le fond de la cavité montre une bonne stabilité thermique contrairement à l'entrée et à la première partie qui indiquent des amplitudes de températures peu compatibles avec une conservation optimale (figure 11). A la grotte de Lascaux, un suivi des températures indique des fortes variations entre la salle des taureaux et le diverticule axial (Lacanette et Malaurent, 2010).

Le contrôle de ces paramètres vise à reconstituer les conditions naturelles de la grotte en cherchant à maintenir le taux de CO₂ assez bas et un taux d'humidité assez haut compatible avec l'absence de condensation.

La connaissance du milieu souterrain passe actuellement par la numérisation en 3D des cavités. Le relevé spatial représente un outil de gestion des travaux et d'interventions indispensable car il permet de calculer les volumes des espaces, de situer les dégradations

potentielles, et de localiser les analyses et prélèvements. Il est réalisé par deux techniques essentielles, la photogrammétrie et la lasergrammétrie. Utilisée depuis plus de 50 ans, la photogrammétrie permet la mesure d'un objet par l'étude de sa reproduction en perspective, à l'aide de photographies ou d'images numériques. Plus rapide dans l'acquisition des données mais un peu moins précise, la lasergrammétrie utilise des scanners qui relèvent des points en coordonnées en trois dimensions par des mesures de distances et des valeurs angulaires (Maumont, 2010).

Après l'analyse de toutes ces données, un projet global de conservation peut être réalisé. Il est dirigé par un comité scientifique composé d'archéologues, de conservateurs, d'hydrogéologues, de micro-biologistes et de spécialistes du climat qui établit des mesures visant à la préservation de ce patrimoine. Pour la grotte d'Altamira, un « Plan muséologique » est établi en 1997 qui avait pour but d'estimer les risques et d'établir des mesures de conservation préventive. Ces mesures se sont révélées drastiques pour l'environnement même de la grotte puisque 120'000 m² de terrain ont été acquis afin de réaliser une zone de protection autour du site. En effet un des risques majeurs pour cette cavité était la présence d'installations agricoles responsables d'une pollution des eaux d'infiltration, ainsi qu'une instabilité de la voûte amplifiée par la présence de bâtiments au-dessus.

A Lascaux, un constat d'état est réalisé entre 2005 et 2009 afin d'évaluer de manière objective l'efficacité des traitements réalisés et l'évolution des dégradations. « Un plan global de conservation » est adopté en 2004 ; il comprend le traitement des dégradations, des programmes de recherches ciblés sur des aspects spécifiques de la grotte (micro-biologique et micro-climat), le relevé en 3D de la cavité ainsi que la récolte d'archives (Coye, éd. 2011). Un contrôle visuel et photographique de plages témoins de la paroi est également réalisé. Ce projet a permis de cerner les éléments fondamentaux à respecter pour une conservation préventive, à savoir :

- éviter d'assécher trop rapidement les surfaces humides pour prévenir la formation de calcite,
- empêcher la condensation d'eau notamment en présence de CO₂ afin d'éviter la corrosion,
- réduire la circulation d'air sur les parois pour éviter de les assécher si elles sont humides et de les éroder quand elles sont sèches
- diminuer le taux de gaz carbonique

b) Le classement des sites

Les instruments juridiques et administratifs relatifs à la protection des grottes ornées participent à la conservation préventive de ce patrimoine. A cet égard plusieurs instruments

existent suivant les pays. En France, le classement aux Monuments historiques permet de protéger un monument ou un site, du fait de son intérêt historique, artistique ou architectural en lui offrant le plus haut niveau de protection. Cette mesure implique une participation financière de l'Etat pour les travaux d'entretien, de réparation et de restauration. En Espagne, les grottes ornées bénéficient du statut de monument classé qui leur offre une protection juridique maximale les protégeant davantage que d'autres biens du patrimoine historique ; à ce titre ils sont propriété de l'Etat, indépendamment du propriétaire du terrain où se trouve la grotte (Coye, éd. 2011).

Le classement auprès de l'Unesco est également une mesure de préservation et de protection des sites qui vise à mettre en place des stratégies de conservation. En 1979, les 25 grottes ornées préhistoriques de la vallée de la Vézère, dont fait partie Lascaux, sont inscrites au Patrimoine mondial de l'Unesco. En Espagne, l'inscription de l' « Art rupestre paléolithique du Nord de l'Espagne » au Patrimoine mondial en 2008 permet d'offrir une protection coordonnée à un ensemble de sites se trouvant sur une zone géographique étendue.

c) La fermeture

La solution drastique de la fermeture totale a été privilégiée dans plusieurs cas suite au constat de mise en danger du site. La grotte de Lascaux est fermée au public en 1963 en raison de son inquiétante dégradation seulement 20 ans après son accès aux visiteurs. Après une restauration des parois qui a duré plusieurs années, la visite n'est autorisée aujourd'hui que pour quelques chercheurs et spécialistes. La grotte d'Altamira est fermée en 1977 pour être ouverte en 1982 avec un système de visites réduites. La fermeture est ordonnée à nouveau en 2002, le régime de restriction des visites n'ayant pas eu assez d'effets sur la conservation.

Découverte en 1994 en Ardèche, la grotte Chauvet est célèbre pour la richesse de ses représentations vieilles de 36'000 ans. Suite aux expériences malheureuses des autres grottes ornées, il est décidé de fermer totalement cette cavité aux visiteurs afin de la préserver. Actuellement, elle ne peut être visitée dans sa totalité que lorsque la quantité de CO₂ est en deçà de 3 % de l'air ambiant de la grotte. Cette situation ne se produit que quatre à cinq mois par an.

La grotte de Marsoulas est également fermée au public à cause de la fragilité des surfaces peintes et gravées et de l'exiguïté du lieu (Fritz et Tosello, 2010).

Cette solution radicale n'est cependant adoptée que sur un faible nombre de grottes ornées (environ cinq cas en France), la solution de la restriction des visites étant pour l'instant privilégiée, comme nous le verrons plus loin (chapitre Va).

d) Les traitements

Après avoir déterminé les causes des dégradations, plusieurs types de traitements peuvent être apportés, qui s'inscrivent soit à court terme avec des traitements ponctuels, soit à long terme avec des mesures visant à rétablir une atmosphère naturelle du milieu souterrain.

Lors du développement de micro-organismes sur les figurations, il est possible de les traiter de trois manières différentes. L'éradication manuelle ou avec un instrument, le traitement par épandage de chaux sur le sol, le traitement chimique par application ou pulvérisation de produits biocides. Le nettoyage manuel est en général exclu sur les décors gravés ou peints, étant donné leur fragilité.

A Lascaux, ces trois types de traitements ont été utilisés pour stopper la prolifération des micro-organismes avec plus ou moins de succès. En 2000, l'installation d'un nouveau système de régulation hygrothermique provoque la prolifération de moisissures composées de divers champignons. Le traitement s'est d'abord fait par pulvérisation de biocide (formaldéhyde) et pose de compresses anti-fongiques (figure 12). Ces traitements s'étant révélés insuffisants, de la chaux vive a été répandue sur le sol afin de stopper le développement des moisissures. Cependant le phénomène des moisissures blanches et taches noires s'accélère en 2001. Lorsque ces champignons sont accompagnés de duvet noir, celui-ci a pu être éliminé par tamponnage. En 2008 une nouvelle phase de pulvérisation de biocide permet la régression du phénomène mais pas son éradication complète.

A ce propos, des recherches faites récemment à Altamira semblent montrer que les bactéries naturellement présentes sur les parois de la grotte empêchent le développement de champignons. Le traitement biocide à Lascaux aurait ainsi éliminé des bactéries ayant une activité anti-fongique mais également provoqué l'apparition de bactéries qui n'ont aucun pouvoir de stopper les champignons. Pour cette raison aucun traitement biocide n'a été mené à Altamira (Coye, éd. 2011).

Ces traitements ponctuels des dégradations doivent s'accompagner d'un rééquilibrage des conditions thermiques et aérodynamiques de la cavité qui peuvent se faire selon divers moyens : canaliser les eaux d'infiltration, isoler partiellement des parties de la grotte, créer des sas d'entrée, pomper le gaz carbonique excédentaire. Des échangeurs de température peuvent aussi réguler les conditions thermiques des différentes parties de la cavité.

Afin de réduire les écarts de température et d'humidité à l'intérieur de la grotte, la fermeture des entrées ou la création de sas permet déjà un contrôle conséquent de la circulation d'air. L'apparition de systèmes de surveillance spécifiques permet de vérifier notamment les taux d'humidité et de CO₂ qui sont les deux paramètres prépondérants pour une conservation optimale des oeuvres. A la grotte de Gargas, une meilleure étanchéité des fermetures a permis de diminuer les différences de température à la fois journalières et saisonnières, ainsi

que les écarts thermiques entre l'air et les parois (figure 13). Dans cette cavité, le niveau d'énergie maximum que la grotte peut réguler dans une journée a été établi à 12 000 Kcal/jour. Cette valeur du seuil énergétique a été utilisée pour déterminer le nombre de visiteurs maximum et une puissance admissible de l'éclairage. La dissipation d'énergie due à la présence des visiteurs a été diminuée par l'instauration d'une visite dans le sens descendant. Le système d'éclairage a été optimisé par l'utilisation de fibres optiques et la segmentation du dispositif. La qualité des spectres lumineux et le niveau d'énergie réduit du nouvel éclairage ont également évité la récurrence des pollutions biologiques (Bourges et al., 2010).

e) Les simulateurs

Développé dans la grotte de Lascaux, un outil prédictif à but de conservation préventive est basé sur une simulation numérique en mécanique des fluides (Lacanette et Malaurent, 2010). D'après un relevé laser 3D très précis de la cavité, ce simulateur permet de tester en laboratoire les changements thermiques et aérodynamiques du milieu souterrain et de proposer les modifications à apporter en vérifiant auparavant leurs conséquences par simulation. Le but est d'éviter la condensation sur les parois en diminuant les écarts entre la température de la vapeur d'eau de l'air et celle de la température de la roche. Cet outil innovant permet ainsi de tester l'influence des aménagements (échafaudages, cloisons, machinerie), du climat et de la présence humaine sur l'état de la cavité. Dans un cadre similaire, une grotte laboratoire présentant des conditions très proches de celles de Lascaux va être choisie en Dordogne pour servir à des expérimentations utiles afin de traiter les divers types de dégradation (Coye, éd. 2011).

V. Les grottes ornées et la muséologie : une valorisation du patrimoine

A cause des problèmes de conservation et parfois de leur difficulté d'accès, les grottes ornées posent des problèmes pour leur mise en valeur auprès du public. Les mesures préventives de conservation proposées par les scientifiques restreignent fortement les possibilités et les choix de valorisation. L'enjeu actuel est de trouver un équilibre entre la préservation, la recherche et l'ouverture au public des grottes ornées.

S'il est vrai que la fermeture de certains sites au public a permis de les sauver de la destruction, elle n'a pas résolu le problème de leur mise en valeur qui reste un objectif indissociable d'un tel patrimoine. Dès lors plusieurs options peuvent être envisagées : la restriction et l'encadrement des visites, la création de fac-similés, la visite virtuelle des grottes et la création de musées dédiés à l'art pariétal.

a) Les visites réduites

Afin de permettre un accès aux sites sans mettre en danger leur conservation, plusieurs grottes ornées ont privilégié, en tout cas dans un premier temps, des visites réduites. Le régime des visites peut être calculé selon un modèle mathématique qui tient compte du climat extérieur, du climat souterrain et de la chaleur apportée par chaque visiteur. Ainsi à Altamira, ce modèle prévoyait un quota de visiteurs variable selon les mois de l'année qui ne devait pas affecter la conservation des peintures, dans la mesure où les perturbations provoquées étaient absorbées par la cavité durant les heures de fermeture. Appliqué en 1982, ce système de visites réduites n'a pas eu assez d'effets sur la conservation ce qui a conduit à la fermeture de la grotte en 2002.

En France, la plupart des grottes ornées ne sont visitables qu'en groupes limités. A la grotte des Combarelles, la visite est limitée à 6 ou 7 personnes alors qu'à la grotte de Niaux elle se fait sous l'encadrement de 2 guides. Ce système implique que le visiteur réserve sa visite à l'avance ce qui l'encourage à respecter les lieux ; il prend ainsi conscience du privilège qu'il a de pénétrer dans un endroit exceptionnel.

b) Le fac-similé

Le fac-similé est une réplique d'une partie ou de la totalité de la cavité qui se limite aux parois les plus richement ornées. Actuellement les scanners 3D sont utilisés dans plusieurs sites pour restituer les volumes et les figurations des grottes.

En 1983 un fac-similé de Lascaux, appelé Lascaux II et situé à 200 mètres de l'original est ouvert au public. Il propose une reconstitution à l'identique mais partielle de la cavité, réalisée en fibro-ciment sur des couches de grillage d'après un relevé stéréophotogrammétrique. Cette coque est ensuite habillée par un sculpteur et peinte avec des colorants identiques à ceux utilisés à l'époque (ocre rouge et oxyde de manganèse) provenant d'un gisement proche. Cette copie partielle a énormément de succès puisqu'elle attire environ 250'000 visiteurs par année. Appelée Lascaux III, une reconstitution d'une autre partie de la grotte réalisée en 2009 est destinée à une exposition itinérante internationale. Constituée de parois en kit démontables, ce fac-similé de 283 m² a attiré de nombreux visiteurs en France et a traversé l'Atlantique en 2013 pour s'arrêter à Chicago, Houston et prochainement Montréal (figure 14). Associées à la reproduction d'une partie de la grotte, des vidéos aident le visiteur à décrypter les peintures et gravures. L'exposition présente également des objets à manipuler, des bornes interactives, des interviews de scientifiques, des sculptures d'homme de Cro-Magnon ainsi qu'une visite virtuelle de la grotte. Il est intéressant de noter que les enjeux de la conservation du site sont totalement intégrés à l'exposition en expliquant d'une part les raisons de la fermeture du site au public

dans une partie intitulée « les crises de Lascaux », et d'autre part en présentant les diverses étapes de fabrication de la copie dans « l'atelier des copistes ».

Première grotte ornée à avoir été découverte, à la fin du XIX^{ème} siècle, la grotte d'Altamira fait aussi l'objet d'un fac-similé appelé « la Neocueva ». Dans un but de conservation de la cavité originale et de valorisation de ce patrimoine exceptionnel, ce projet a pour but de restituer la grotte telle qu'elle était il y a 14'000 ans au moment de son occupation et non pas sa physionomie actuelle modifiée par de nombreux éboulements. Ce fac-similé intégré à un musée en 2001, propose une démarche intéressante dans sa muséologie puisque les éléments modernes nécessaires à sa visite sont intégrés en étant visibles pour montrer leur caractère artificiel dans un espace « préhistorique ».

Unique par son ampleur, La Caverne du Pont-d'Arc en Ardèche est un projet en cours de réalisation qui vise à construire un fac-similé de la grotte Chauvet découverte en 1994 et jamais ouverte au public. Avec une ouverture prévue en 2015, la copie intégrale de la cavité rassemblera toutes les figurations peintes et gravées il y a plus de 30'000 ans mais aussi des éléments géologiques et archéologiques (ossements, foyers, empreintes...). Cette réplique aux dimensions impressionnantes, 3000 m² au sol et 8000 m² de faciès géologique, vise également à restituer toutes les caractéristiques du milieu souterrain : fraîcheur, humidité, pénombre, odeurs. Ce projet ambitieux montre, même s'il n'est pas encore achevé, la possibilité avec les techniques actuelles de faire des répliques complètes de ces sites.

c) La visite virtuelle

Les techniques de modélisation numérique toujours plus sophistiquées permettent de recréer en volume l'intérieur des cavités pour offrir au spectateur une vision exacte du site. Devant son ordinateur, il peut progresser dans la grotte comme s'il visitait réellement l'espace. Basé sur la photogrammétrie et la lasergrammétrie, la reconstitution virtuelle des grottes ornées permet non seulement de visiter ces espaces souterrains mais aussi d'accéder à des informations supplémentaires sur des points précis des figurations, en cliquant dessus par exemple.

Plusieurs cavités ont eu recours à ce procédé comme la grotte de Lascaux (<http://www.lascaux.culture.fr/>) et la grotte de Marsoulas (<http://www.creap.fr/Marsoulas-3D.htm>). Quatre grottes ornées de sculptures situées en France, Le Roc-aux-Sorciers (Vienne), La Chaire-à-Calvin (Charente), l'abri Reverdit (Dordogne) et l'abri du Cap Blanc (Dordogne) ont fait également l'objet de reconstitutions virtuelles qui sont réunies sur un même site internet (figure 15) (<http://sculpture.prehistoire.culture.fr>).

Une visite virtuelle originale est celle réalisée dans le Centre d'interprétation du Roc-aux-Sorciers. Initialement à but de recherche scientifique, ce projet né en 1999 est développé

également à des fins touristiques dans une volonté de partager la beauté de cette grotte inaccessible au public (Pinçon et al., 2010). La frise sculptée restituée grandeur nature à partir d'images 3D sert de support à un film projeté par 8 vidéo-projecteurs synchronisés formant, sur vingt mètres de long, une seule image. Ce projet à mi-chemin entre un fac-similé et une visite virtuelle a suivi un cahier des charges détaillé quant aux modalités de précision des informations à saisir (de 1 à 10 mm de précision selon les zones).

Ces visites virtuelles offrent des avantages certains par leur facilité d'utilisation, la qualité et la quantité d'informations transmises ainsi que leur rôle pour la conservation de sites menacés. Cependant les musées numériques ont comme inconvénient majeur une dématérialisation de l'objet, le public ne se déplaçant plus au musée.

d) Les musées

Les musées représentent une alternative intéressante pour valoriser et rendre accessible à tous les publics l'art pariétal paléolithique. Relativement nombreux dans la zone franco-cantabrique, les musées traitant ce thème sont dans la plupart des cas des institutions dédiées à la préhistoire en général, où l'art rupestre tient une part plus ou moins grande dans l'exposition. Cependant plusieurs musées se sont focalisés sur l'art des grottes ornées en recourant généralement à des fac-similés de parties de parois et à des visites virtuelles.

C'est le cas du Centre de l'art préhistorique, implanté dans le village des Eyzies-de-Tayac en Dordogne, qui offre avec le Musée national de Préhistoire situé à proximité une vision globale de la vallée de la Vézère et de son patrimoine artistique.

En Ariège, le parc pyrénéen de l'art préhistorique a été créé en 1994 pour valoriser l'ensemble des grottes ornées de ce département (une douzaine) afin de créer un pôle d'attraction centré sur l'art préhistorique. A Lascaux, un centre national d'art pariétal est en voie de réalisation, qui présentera entre autre un fac-similé de toutes les parties ornées de la cavité. Avec une ouverture prévue en 2016, il est aussi appelé Lascaux 4.

En Ardèche, l'exposition « Grotte Chauvet-Pont d'Arc » est actuellement le seul lieu accessible au public présentant les peintures et gravures de la grotte. Conçue comme un musée, elle permet aux visiteurs de découvrir le mode de vie des hommes de Cro-Magnon, et les dessins qu'ils ont réalisés.

VI. Conclusion

Cette réflexion à propos de la conservation et de la valorisation de l'art des grottes ornées rappelle le rôle essentiel qu'a joué la grotte de Lascaux dans la connaissance du milieu souterrain. Depuis les années 1940, date de sa découverte, ce site célèbre a servi de véritable laboratoire de recherche pour reconnaître les différents facteurs à l'origine des

déprédations et trouver des solutions afin de les éliminer. Les nombreuses crises qu'a vécues Lascaux ont permis de préciser et d'orienter les mesures de conservation appliquées à de tels sites et d'offrir des solutions à l'échelle de l'art rupestre mondial.

Actuellement la mise en application d'instruments juridiques, la surveillance efficace des cavités et de leurs conditions environnementales, ainsi que la limitation du nombre de visiteurs sont les principales mesures adoptées pour la conservation à long terme de ce patrimoine. Parmi les différentes options à disposition pour valoriser le patrimoine particulier que sont les grottes ornées, les fac-similés et la visite virtuelle sont les moyens qui paraissent les plus efficaces même s'il ont un coût financier assez important. Les moyens numériques actuels ont permis depuis plusieurs années d'améliorer la connaissance du milieu souterrain. L'efficacité de l'imagerie 3D est bien démontrée d'une part pour la conservation des sites et d'autre part pour réaliser des copies à présenter dans des musées. Malgré la qualité de ces reconstitutions toujours plus parfaites, il est difficile d'atteindre l'émotion suscitée par la visite d'une vraie grotte. Les copies en résine resteront toujours des faux ; la différence entre un moulage et un objet original reste très grande mais la préservation de l'art paléolithique est à ce prix.

VII. Bibliographie

- Abris sculptés de la préhistoire [en ligne] (page consultée le 18.03.14). <http://sculpture.prehistoire.culture.fr>
- Bourges, F., Mauduit, E., Begouën, R. 2010. Développement durable et patrimoine souterrain : le cas des grottes ornées paléolithiques [en ligne] (page consultée le 18.03.14). http://www.geconseil.com/publications/2010_3.pdf
- Breuil, H. Begouën, 1933. De la Protection des grottes préhistoriques. *Bulletin de la société préhistorique française*, 30 (4), 235-238.
- Chauvet, J.-M., Brunel Deschamps, E., Hillaire, C. La grotte Chauvet à Vallon-Pont-d'Arc 2005. Paris : Seuil. 114 p.
- Coye, N., éd. 2011. Lascaux et la conservation en milieu souterrain : actes du symposium international, Paris 26-27/02/09. Documents d'archéologie française ; 105. Paris : Ed. de la Maison des sciences de l'homme. 360 p.
- Fritz, C., Tosello, G. 2010. Marsoulas, renaissance d'une grotte ornée. Paris : Editions Errance. 52 p.
- Lacanette, D., Malaurent, P. 2010. La 3D au service de la conservation des grottes ornées, l'exemple de Lascaux et du simulateur Lascaux, *In Situ* [en ligne], 13 | 2010, <http://insitu.revues.org/6793> ; DOI : 10.4000/insitu.6793.
- Lascaux III, l'exposition internationale [en ligne] (page consultée le 18.03.14). <http://www.lascaux-expo.fr/zone/zone-4-fr/>
- Lorblanchet, M., 1995. Les grottes ornées de la préhistoire : nouveaux regards. Paris : Editions Errance. 288 p.

Maumont, M. 2010. L'espace 3D : de la photogrammétrie à la lasergrammétrie, *In Situ* [en ligne], 13 | 2010, <http://insitu.revues.org/6413> ; DOI : 10.4000/insitu.6413.

Pinçon, G., Fuentes, O., Barré, R. et al. 2010. De la frise magdalénienne in situ ... au centre d'interprétation du Roc-aux-Sorciers : l'usage de la 3D, *In Situ* [en ligne], 13 | 2010. <http://insitu.revues.org/6672> ; DOI : 10.4000/insitu.6672.

Wikipédia. Art préhistorique [en ligne] (page consultée le 18.03.14).
http://fr.wikipedia.org/wiki/Art_préhistorique