

**DIRECTION REGIONALE DES AFFAIRES CULTURELLES D'OCCITANIE**  
5, rue Salle-l'Evêque  
CS 49020  
34967 MONTPELLIER Cedex 2

**CAHIER DES CLAUSES TECHNIQUES PARTICULIERES  
POUR LE SUIVI ENVIRONNEMENTAL A OBJECTIF DE  
CONSERVATION PREVENTIVE DES GROTTES ORNEES  
PALEOLITHIQUES DE NIAUX, DU MAS D'AZIL, DE LA  
VACHE ET DES EGLISES (Ariège), DE MARSOULAS (Haute  
- Garonne), DE GARGAS (Hautes – Pyrénées), DE PECH  
MERLE, DE L'ABRI DE LAGRAVE (Lot), ET DE LA GROTTE  
DE BRUNIQUEL (Tarn-et-Garonne) - France**

**Consultation via : \_PLACE\_2026\_grottes\_ornees\_  
Accord-cadre pluriannuel (4 ans) mono-attributaire**

# **PREAMBULE**

## **Objectifs, enjeux et moyens du suivi environnemental**

Une politique de conservation préventive et de valorisation du patrimoine nécessite la connaissance approfondie des caractéristiques environnementales du milieu souterrain naturel dont le fonctionnement, en équilibre plus ou moins fragile selon les contextes, assure la qualité conservatoire des vestiges.

Le principe de la permanence d'une veille environnementale dans des cavités ornées particulièrement vulnérables (cavernes aménagées pour le tourisme ou gravement déstabilisées par des travaux anciens), sous la forme d'un dispositif d'acquisition des paramètres significatifs et prédéfinis, s'est imposé à la suite des études réalisées dans cinq grottes de la région Occitanie.

Seul un suivi en continu des données collectées par des stations de mesure permet une surveillance efficace du milieu souterrain par l'évaluation permanente des données et le déclenchement d'une alerte en cas de problèmes affectant la stabilité du milieu souterrain ou d'atteinte caractérisée aux conditions de conservation des témoignages paléolithiques.

L'acquisition des données physico – chimiques est assurée par l'installation de centrales de mesures ou des systèmes de mesure de qualité optimale dont l'étalonnage doit être réalisé avec une extrême précision pour chacun des sites souterrains concernés.

Les chroniques obtenues sont traitées pour permettre une interprétation en termes de conditions conservatoires des témoignages d'art pariétal paléolithique des cavités.

L'intervention exige une haute technicité dans l'appréhension et la prise en compte des problématiques spécifiques à la conservation des œuvres pariétales en milieu souterrain.

Une parfaite connaissance des matériels déployés, de leur réglage, de leur maintenance ainsi que des caractéristiques tant naturelles (fonctionnement du système karstique) qu'anthropiques (aménagements liés à l'exploitation touristique) des sites concernés est un pré - requis indispensable à la bonne conduite des études.

La mise en place de suivis environnementaux multi - paramètres physico-chimiques contribue également, sur la base des mêmes éléments quantifiés, à fournir une aide précieuse à la décision aussi bien pour la réalisation d'aménagements que pour la conduite d'opérations de remédiation.

L'intervention de spécialistes possédant formation, connaissances scientifiques, savoir - faire technique et expérience avérée du milieu souterrain se justifie par la nécessité de s'assurer d'une implication directe des acteurs dans la recherche environnementale et d'une vigilance soutenue par une information actualisée sur les

recherches des phénomènes susceptibles d'affecter la conservation des œuvres pariétales paléolithiques.

## **Historique du suivi environnemental**

Depuis 1971, en Occitanie, région riche en grottes ornées, les préoccupations en termes de conservation préventive des œuvres pariétales se sont enrichies d'une réflexion menée de concert avec les spécialistes du monde souterrain.

Les suivis environnementaux ont débuté dans le réseau Clastres de Niaux (Ariège), juste après sa découverte en 1971. Ils furent motivés, à l'origine, par la nécessité de mieux comprendre le fonctionnement du milieu souterrain et donc les conditions climatiques dans lesquelles les œuvres furent conservées.

L'objectif de cette étude, réalisée par les chercheurs du laboratoire souterrain CNRS de Moulis (aujourd'hui Station d'Écologie Théorique et Expérimentale - SETE) : Claude Andrieux, ingénieur, Alain Mangin, chercheur, rejoints un an plus tard par Michel Bakalowicz, chercheur géochimiste, et, enfin, par Dominique D'Hulst en 1974, ingénieur, était de caractériser les micro-climats qui régnaient dans le réseau Clastres, afin de les mettre en relation avec le climat général de la grotte de Niaux et les phénomènes météorologiques agissant sur le massif karstique.

Après l'opération initiée à Niaux en 1971, d'autres sites ont fait l'objet de suivis en continu depuis 1981 à Niaux, 1998 au Pech Merle, 2005 à Gargas et à Marsoulas, 2010 au Mas-d'Azil, et 2015 à la grotte de Bruniquel, et de manière ponctuelle à la grotte de La Vache (2018-19 puis à partir de 2022) et à l'abri de Lagrave (2020-21 puis à partir de 2022).

L'entretien et le remplacement des instruments ont été assurés par le bureau d'études Géologie-Environnement-Conseil dans le cadre de prestations successives de suivi environnemental dans les grottes de Midi-Pyrénées puis Occitanie (contrats Ministère de la Culture et de la Communication/Sous-Direction de l'Archéologie, puis DRAC Midi – Pyrénées, enfin DRAC Occitanie), monitoring étendu aujourd'hui à Gargas (Aventignan, Hautes - Pyrénées), Marsoulas (Haute-Garonne), à Niaux, au Mas-d'Azil et à La Vache (Ariège), au Pech Merle et à l'abri de Lagrave (Lot), et à la grotte de Bruniquel (Tarn-et-Garonne).

## **Principes de la conservation préventive**

Aucune action de conservation préventive n'est appliquée directement aux peintures, dessins, gravures ou autres vestiges paléolithiques fragiles dans les grottes concernées.

Les mesures de conservation préventive consistent au maintien de conditions environnementales et climatiques souterraines assurant la pérennité de ces éléments du patrimoine.

L'essentiel des efforts porte, en conséquence - outre la vigilance exercée dans le périmètre de sensibilité karstique externe des cavités - sur la réduction des risques prévisibles de nature à modifier les conditions climatiques internes. Il s'agit - mais pas exclusivement - de ceux générés par l'accès des personnes et les aménagements afférents, notamment dans les cavernes aménagées pour le tourisme.

Les systèmes de suivis environnementaux déployés dans les cavités font partie intégrante des problématiques de conservation préventive des œuvres pariétales et des témoignages archéologiques.

Un enregistrement 24 heures sur 24 des paramètres environnementaux internes pertinents, tels que température (sol, air, paroi), pression partielle en vapeur d'eau, pression barométrique, concentration en gaz carbonique ou radon est ainsi mis en œuvre.

### **Concepts méthodologiques**

Les méthodes utilisées pour l'analyse du milieu sont fondées sur une approche systémique qui analyse les relations entre les différentes parties du système karstique (sol, épikarst, réseaux de fissures, grandes cavités, zone noyée) dont les grottes ornées constituent un élément.

La problématique impose le plus souvent un suivi en continu avec la mise en place d'une instrumentation portant sur les paramètres physico-chimiques (températures intérieures air-sol et température extérieure, pluviométrie, hygrométrie, pression barométrique), ou des marqueurs chimiques (teneur en CO<sub>2</sub>, activité en radon 222).

Pour chacun des paramètres, la résolution et les pas d'acquisition de la chaîne instrumentale doivent être adaptés aux niveaux d'échelles du signal qui contient l'information.

Un travail d'analyse et de traitement du signal (analyses de corrélation et spectrales, en ondelettes continues ou discrètes) permet finalement d'extraire l'information qui va nourrir les interprétations physiques.

Il convient de considérer que si le contrôle des paramètres s'effectue dans une grotte visitée par le public (Niaux, Mas d'Azil, Gargas et Pech Merle), les modifications apportées par la présence des visiteurs constituent logiquement un élément s'intégrant à la chronique de la cavité.

Il en va de même de l'impact des aménagements touristiques et en particulier des systèmes d'éclairage.

La problématique posée n'est donc en aucune manière de revenir à un état originel, largement illusoire, de l'environnement souterrain exempt de toute perturbation d'origine humaine. Il s'agit, au contraire, de quantifier la part des différents « désordres » engendrés par l'activité humaine au sens large.

Le point principal à définir est de préciser en fonction du cycle annuel, le seuil au-delà duquel les grottes ne peuvent plus revenir naturellement à l'équilibre après cessation des actions perturbatrices.

Dans tous les cas, l'acquisition de données organisées est mise en œuvre dans le but de répondre à des questions précises en relation directe avec la conservation des œuvres en même temps qu'avec la vocation touristique des cavités.

Au final, l'objectif est de définir positivement le type d'équipement et d'organisation (protocole) des visites à retenir de manière à ne pas mettre la cavité durablement hors d'un état d'équilibre.

Par ailleurs, la dernière décennie est marquée par la propagation des effets du changement climatique dans les sites souterrains. Des dérives de la température sensibles sont confirmées dans plusieurs grottes d'Occitanie. L'enjeu supplémentaire des années à venir résidera donc dans l'évaluation des effets des évolutions de l'environnement souterrain sur la préservation des vestiges des grottes ornées dans le contexte du changement climatique global.

## **Article 1 : cadre d'intervention**

Quatre des neufs sites concernés sont des cavernes aménagées pour le tourisme (Niaux, La Vache, Gargas et le Pech Merle) dont tout ou partie des secteurs ornés sont accessibles au public ; un site comprend des galeries contenant de l'art pariétal mais qui ne sont pas incluses dans le circuit de visite (le Mas d'Azil), deux sites ornés fermés et inaccessibles au public mais exposés aux conditions climatiques extérieures du fait de leur configuration topographique particulière (la grotte de Marsoulas et l'abri Lagrave), un autre ne présentant pas d'art pariétal mais des structures d'aménagement néandertaliennes et des sols intacts a toujours été inaccessible au public (Bruniquel), enfin, le dernier, qui n'était pas intégré dans le marché précédent, est la galerie ornée de la grotte des Églises (Ussat).

### **Grotte de Niaux (Ariège) – site classé MH (1911)**

#### *A/ Contexte sanitaire*

Il s'agit d'une grotte ouverte au public dont la fréquentation est actuellement limitée à 230 personnes/jour. Plusieurs panneaux du Salon Noir sont soumis à des risques de dégradation par les écoulements naturels. Dès les années 1930, le panneau 7 fut affecté par des ruissellements qui conduisirent l'abbé Breuil à faire creuser un larmier protecteur. En 1978-81, des arrivées d'eau endommagent gravement les peintures du Salon noir. Des épisodes d'humidités récurrents en paroi ornée constituent la menace conservatoire principale. La mise en place de systèmes d'alerte (mesure en continu des débits d'eau captée) et de protections (captage et détournement des eaux en surface) permet de gérer les menaces en anticipant des épisodes majeurs et en atténuant les effets

Même si le danger n'est plus imminent, à l'heure actuelle, une crise similaire à celle ayant entraîné la disparition d'une partie des peintures peut se reproduire. Les

changements climatiques en cours, même s'ils ne sont pas évalués à l'échelle régionale, font peser une menace supplémentaire en cas de modification de la variabilité climatique.

Le site reste sensible et nécessite, en conséquence, un suivi attentif des paramètres physico-chimiques complété par un examen de l'état des parois ornées réalisé régulièrement par les guides lors des visites quotidiennes.

#### *B/ Synthèse des dernières années*

Les humidités pariétales sont globalement basses ces dernières années correspondant à des débits captés faibles avec cependant des variations saisonnières déterminant des humidifications locales. Le suivi de l'évaporation massique a confirmé la persistance de conditions naturelles d'évaporation au Salon noir. Le phénomène d'infiltration et de mouillage des parois est plus complexe que supposé comme l'indiquent l'absence de relation pluie/débit, le régime d'écoulement distinct de celui des arrivées sous concrétions et le fait que les eaux ne déposent pas de calcite. L'état d'humidité, évalué visuellement, varie avec la saison avec une augmentation en début d'hiver puis une stabilisation vers un assèchement en été. Les températures sont stables à long terme contrairement aux autres sites qui subissent une dérive thermique. Seule la zone d'entrée montre une évolution à la hausse. L'épisode COVID a montré que la température du Salon noir (air et paroi) et sa variation saisonnière annuelle sont déterminées par la fréquentation touristique. La relation visite/température s'est modifiée depuis 2020 avec, après chaque journée de visite, un retour d'air chaud nocturne attribué à un effet convectif impliquant les parties hautes du Salon noir. Les investigations lancées depuis 2 ans sur le linéaire du réseau ont montré que la communication avec Lombrives détermine spatialement et temporellement les températures le long de la galerie principale, avec un effet au Salon noir.

#### *C/ Prescriptions de suivi environnemental*

Le suivi environnemental porte sur :

- 1) la mesure des débits d'eau d'infiltration issue de micro-forages situés au - dessus du panneau 6 peint du Salon Noir (larmier) et du Cul de four ;
- 2) le contrôle thermique en paroi et dans l'air du Salon Noir.

Le suivi des débits a pour objectif d'anticiper les menaces de ruissellements à partir des réseaux de fissures et de micro-fissures notamment.

Ces écoulements menacent directement par lessivage des pigments les peintures pariétales paléolithiques.

Les observations réalisées lors de la situation de la crise de 1978 (crue pariétale) qui entraîna la dégradation de plusieurs panneaux ornés (une dizaine de peintures avaient alors disparu) et qui avait motivé les interventions du Laboratoire de Recherches des Monuments Historiques et du Laboratoire CNRS de Moulis constituent un cadre de référence pour la prévention des risques.

### *C/ Données chiffrées*

À partir des mesures réalisées à cette époque, un premier seuil d'alerte sur les débits des micro-forages avait été estimé à 1150 ml/j pour le début des interventions, le niveau de 1200 ml/jour correspondant à un début possible des dégradations.

Un nouveau seuil à 1000 ml/j a été proposé à la suite des observations réalisées en 2005.

Le suivi thermique et des mesures ponctuelles de la composition de l'atmosphère souterraine (CO<sub>2</sub> essentiellement) permettent de contrôler la stabilité des conditions environnementales dans le site dont le protocole de fréquentation limite à 230 le nombre de visiteurs admis par jour.

## **Grotte du Mas d'Azil (Ariège) – site classé MH (1942)**

### *A/ Contexte sanitaire*

La grotte du Mas d'Azil a subi d'importantes dégradations depuis le 19<sup>e</sup> siècle avec des fouilles archéologiques de grande ampleur, des terrassements routiers et divers aménagements et excavations qui ont modifié les volumes naturels, leurs relations internes et les échanges avec l'extérieur. Ces travaux, ainsi que ceux liés à l'utilisation pour le tourisme, ont contribué à générer une aérologie nouvelle qui s'étendait aux secteurs ornés et aux gisements archéologiques.

Des premières expérimentations en 2001 ont montré les impacts climatiques violents de la mise en courant d'air d'une grande partie des galeries supérieures lors des ouvertures des portes et la perte du confinement souterrain générant un empoussièrément de l'espace souterrain par la circulation routière. Des verdissements extensifs polluaient la périphérie des points lumineux.

La Galerie Breuil (GB) et la Salle des peintures rouges (SPR) ont été ouvertes par des fouilles, leur accès avait été sécurisé par une grille laissant le site ouvert sur l'ambiance de l'axe routier de l'Arize. Des alternances saisonnières de condensations et d'assèchements vulnérantes pour les vestiges affectaient particulièrement la SPR.

### *B/ Prescriptions de suivi environnemental*

Une étude environnementale de 15 mois a été conduite par le Bureau d'études Géologie – Environnement – Conseil préalablement au réaménagement du circuit de visite touristique du site en 2011 – 2012. Elle a été effectuée le long du parcours touristique dans les galeries supérieures connectées à deux galeries ornées (dites du renne et du masque) et avec un cheminement dans un site paléontologique (galerie de l'ours).

Les préconisations émises consistaient, pour l'essentiel, à augmenter le niveau de confinement des galeries supérieures en vue d'étendre et de pérenniser des conditions de stabilité identifiées localement et sur de courtes durées.

La réalisation des travaux sur le parcours touristique par le Conseil départemental de l'Ariège (achevés à l'été 2012) s'est bien accompagnée par un retour des galeries

supérieures à une situation de confinement souterrain. Les objectifs conservatoires ont été atteints : arrêt des condensations sur les voûtes ornées de la galerie du Renne, rétablissement d'une atmosphère de grotte isolée des contaminations routières. La stabilisation climatique obtenue semble désormais compatible avec l'exploitation touristique et la fréquentation par les chiroptères.

Cependant deux problèmes restaient entiers : la galerie Breuil qui n'avait pas été prise en compte dans les travaux de réaménagement centrés sur la sécurisation du parcours de visite et la question récurrente des effets de la circulation routière.

#### *C/ Données chiffrées et premiers résultats*

La galerie Breuil a été instrumentée en 2013. Les données recueillies jusqu'en 2020 confirmaient une déstabilisation grave et persistante de la galerie largement soumise aux influences extérieures directes. Des épisodes de condensation au printemps et en été, observés en paroi ornée, constituaient une menace avérée pour la préservation des vestiges.

La Conservation Régionale des Monuments Historiques d'Occitanie a été saisie et un programme de remédiation des désordres identifiés a été élaboré lors d'une visite d'expertise du LRMH, le 25 septembre 2019.

La remédiation recommandée a été réalisée en octobre 2023 avec la pose d'une porte pleine afin de couper l'essentiel des circulations responsables des chocs thermo-hygrométriques. La galerie a retrouvé une inertie thermique et les états de paroi sont stabilisés, c'est particulièrement le cas de la SPR où des processus d'altération (mouillages et ruissellements) étaient actifs délavant les pigments. Le suivi montre une forte dérive des températures souterraines (+ 1,5 °C à +1,63 °C par décennie depuis 2013 à comparer avec les +0,4 °C de moyenne en France) qui demande à être expliquée.

Pour ce qui concerne les émanations et suies issues de la circulation automobile, on ne peut, à ce jour, que constater que les impératifs de conservation s'affrontent à l'usage de la grotte du Mas d'Azil comme tunnel routier.

### **Grotte de La Vache, Alliat (Ariège) – site inscrit MH (1952)**

#### *A/ Contexte sanitaire*

C'est un des sites majeurs de la culture du Magdalénien pyrénéen. Il présente un habitat en grotte du Magdalénien supérieur et de l'Azilien (aux environs de 12 000 av. le présent) qui a été fouillé principalement par Romain Robert de 1940 à 1964. Ces fouilles ont livré un matériel archéologique très diversifié, notamment des objets d'art mobilier exceptionnels, qui se trouve conservé au Musée d'Archéologie Nationale à Saint-Germain-en-Laye.

Dans la salle Garrigou, ouverte à l'extérieur par deux entrées, se situaient des tracés digitaux et des figurations pariétales pouvant être rattachées à un art schématique ibérique protohistorique. Les peintures situées en voûte près de l'ouverture Nord ont aujourd'hui disparu à l'exception de restes de pigment dans des micro-anfractuosités ;

l'autre panneau près de l'ouverture Sud reste lisible lorsque l'humidité en paroi est suffisante. Cependant, les figures perdent leur contraste lorsque la paroi est sèche.

#### *B/ Prescriptions de suivi environnemental*

Cette cavité a fait l'objet de nombreux aménagements internes et a été ouverte au public à partir de 1979. Dans le cadre d'un projet de réaménagement du circuit de visite touristique de la grotte initié en 2015, et après expertise du Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, une première étude de suivi climatique s'inscrivant dans une démarche de conservation préventive et de sauvegarde des témoins de l'art pariétal a été réalisée du 1<sup>er</sup> mars 2018 au 18 mars 2019.

Cette étude a permis de mettre en évidence des facteurs climatiques vulnérants pour les peintures pariétales. Depuis les fouilles archéologiques de R. Robert et les aménagements postérieurs, le secteur orné se trouve dans une situation d'interface active entre le milieu souterrain et sa dynamique active, mais régulatrice, et le climat extérieur caractérisé par des fluctuations à l'échelle journalière et saisonnière de grande ampleur. Cette nouvelle configuration des lieux a généré des effets vulnérants, étant la conséquence d'alternances fréquentes de phases assèchement/humidification régulièrement identifiées sur les panneaux ornés par la migration de fronts humides. Les altérations sont attribuées à la dynamique constituée par les effets mécaniques d'entraînement de matière par ruissellements et d'égouttements observés lors d'épisodes de condensation massive, et au pouvoir corrosif de ces films d'eau sur la paroi.

Une première phase d'étude recommandait un confinement du site afin de soustraire les œuvres aux influences climatiques déstabilisatrices. Il s'agissait de réguler le fonctionnement climatique en profitant de l'inertie conférée par les parties profondes de la grotte en relation avec la zone d'entrée qui contient les panneaux peints encore existants. Les opérations de confinement recommandées ont été terminées au printemps 2022. Elles ont consisté à poser des panneaux fermant totalement le porche au niveau de ses ouvertures. Une instrumentation a été posée de manière à suivre l'évolution de l'ambiance souterraine en comparaison avec les conditions extérieures.

#### *B/ Données chiffrées et premiers résultats*

Après une année de mise à l'équilibre jusqu'au printemps 2023, les effets néfastes de condensations massives et de ruissellement ont disparu dans les secteurs d'intérêt. La situation est cependant irrémédiablement dégradée ne laissant qu'une faible quantité de pigment avec une fragilité importante de ces vestiges. Après clôture, les amplitudes thermiques annuelles ont été divisées par 10 devant les panneaux ornés, l'humidité est stabilisée à des niveaux proches de la saturation mais la condensation est réduite car les conditions à l'interface restent proches de l'équilibre. La disparition des cycles de condensation/assèchement journaliers qui deviennent saisonniers diminue considérablement le potentiel d'altération.

Ainsi, l'installation de la clôture au niveau du porche de la grotte de La Vache a modifié de manière significative le microenvironnement des vestiges évoluant d'une ambiance d'abri sous roche très ouvert fortement impacté par l'extérieur à celui d'une entrée de grotte superficielle fermée, voire d'une grotte profonde dans la salle Monique.

Le site a été ouvert à la visite touristique en début 2024. L'impact de la fréquentation reste limité par rapport aux fluctuations naturelles sur l'ensemble des points mesurés, il génère cependant un maximum thermique au mois d'août accentué par les visites journalières. Un point remarquable est la forte dérive thermique dans tout le site et en particulier dans la salle Monique.

### **Grotte des Églises à Ussat (Ariège) – site inscrit MH (2026)**

#### *A/ Contexte sanitaire*

La grotte des Églises est une vaste cavité ayant conservé de très nombreux vestiges d'occupations des temps préhistoriques et historiques. Son art pariétal paléolithique ne s'est conservé que dans la partie terminale d'une galerie secondaire qui a été fermée par un mur en pierres et une porte pleine. La galerie ornée n'était plus accessible depuis une dizaine d'années en raison d'une tentative d'effraction qui avait bloqué la porte. Celle-ci a pu être réparée au mois de février 2023, grâce à l'intervention du Spéléo-club du Haut Sabarthez. Depuis, des visites régulières ont pu être effectuées dans le cadre du dossier de classement au titre des Monuments historiques de la grotte et des phénomènes importants de condensation au niveau des panneaux des peintures ont alors été observés, autant en hiver qu'en été.

#### *B/ Prescriptions de suivi environnemental*

Il est demandé une évaluation de l'état de conservation de l'art pariétal de la galerie ainsi qu'une étude climatique et environnementale, pour comprendre les phénomènes de condensation observés et proposer des mesures de remédiation.

### **Grotte de Gargas à Aventignan (Hautes-Pyrénées) – site classé MH (1910)**

#### *A/ Contexte sanitaire*

L'état sanitaire de la grotte a connu une phase critique au début des années 1990, se traduisant par une forte activité photosynthétique des microorganismes qui maculaient les parois et les sols (gelées gluantes noires au plafond, masses bleu-vert sur la roche de l'encaissant ou au ras du sol, taches d'algues vertes sur la calcite...). Ces phénomènes de colonisation étaient le résultat d'une profonde déstabilisation de l'environnement souterrain qui, à court et moyen terme, aurait eu des effets délétères sur les conditions de conservation des œuvres pariétales. Une réflexion générale s'est engagée à partir de 1997 parmi tous les acteurs de la conservation du site (Drac, commune d'Aventignan, département des Hautes-Pyrénées, laboratoire de Moulis, laboratoire de cryptogamie du Muséum national d'histoire naturelle, bureau d'études Géologie-Environnement-Conseil), avec pour objectif un réaménagement global de la cavité. Trois aspects ont été privilégiés : la conservation des œuvres pariétales préhistoriques, le respect de l'intégrité du milieu naturel souterrain, ainsi que le confort, la sécurité et l'intérêt de la visite touristique.

Les menaces les plus sévères sur la conservation (*surventilation, fréquentation et aménagements inadaptés, contaminations microbiologiques extensives*) ont été écartées avec le réaménagement de la cavité. Après la réouverture au public en 2005, le suivi environnemental (températures air et paroi sur 3 stations) avait pour objectif de contrôler l'effet des modifications et d'optimiser les nouveaux aménagements dans

un objectif conservatoire. Des mesures d'évaporation massique sont ajoutées pour suivre les variations saisonnières de contrastes sur la grande paroi des mains et la formation d'une tâche blanche saisonnière. Après le nettoyage de la cavité, des reprises de contaminations microbiologiques dans les zones éclairées ont fait l'objet d'un traitement efficace par UV par le LRMH. Des thermomètres de précision sont progressivement installés suite à une dérive thermique à la hausse identifiée à partir de 2012 dans l'ensemble du site.

#### *B/ Prescriptions de suivi environnemental et synthèse des dernières années*

Le problème des échanges avec l'extérieur a été traité en restaurant, progressivement et sous contrôle, un confinement souterrain compatible avec les meilleures propriétés conservatoires. Les dernières opérations d'amélioration de l'étanchéité du mur de clôture ont réduit la surventilation résiduelle et stabilisé les vestiges de la salle basse. Le suivi des évaporations massiques et de la thermique a amélioré la compréhension des transferts de chaleur et permis d'anticiper l'évolution de la tâche blanche saisonnière et sa disparition en 2024.

Ces éléments ouvrent la réflexion sur les effets du réchauffement climatique et de ses effets sur le microclimat et les états de paroi. La grotte de Gargas est l'un des trois sites pilote du programme ANR DECACLIM visant à définir de nouvelles stratégies conservatoires face au changement climatique. À ce titre, un relevé 3D, la pose de stations de mesures complémentaires (thermique, CO<sub>2</sub>), la mesure de paramètres complémentaires (aérosols, radon 222), des expérimentations d'aérodologie, des mesures en surface (température, pression, précipitations) et un programme de modélisation sont en cours. L'intégration de ces éléments vise à constituer un jumeau numérique de la cavité (suite de modèles qui permettent d'anticiper le fonctionnement à long terme de la climatologie souterraine avec les effets du réchauffement climatique).

### **Grotte des Fées à Marsoulas (Haute-Garonne) – site classé MH (1910)**

#### *A/ Contexte sanitaire*

Il s'agit d'une grotte ornée qui a subi des dégradations importantes et dont l'évolution actuelle reste toujours inquiétante.

Le site est certes protégé des dégradations volontaires ou involontaires par une porte efficace (récemment remplacée), mais des effets de condensation suivis de ruissellements sur paroi persistent. Ils délavent le pigment et altèrent le support rocheux. Les parois sont en outre affectées par des phases de dessiccation en période froide qui entraînent des pertes de matière.

Ces graves problèmes de conservation du site, identifiés lors de l'étude préliminaire DRAC Midi Pyrénées de 2000/2001, ont amené la 7ème section de la Commission Supérieure des Monuments Historiques (réunion du 31 janvier 2002) à préconiser la mise en place d'un suivi environnemental de la cavité.

En 2004-2005 des expérimentations confiées au Bureau d'études Géologie – Environnement - Conseil avec des mesures en continu ont permis d'identifier le

fonctionnement de la zone d'entrée comme étant à l'origine des problèmes conservatoires.

#### *B/ Prescriptions de suivi environnemental*

La mise en œuvre du suivi environnemental en continu a débuté fin août 2005 avec le montage d'un dispositif de mesures en continu.

Il a permis la préconisation d'une remédiation qui consiste, pour l'essentiel, à substituer à l'éboulis dont l'ablation totale est intervenue lors de fouilles archéologiques en 1933, un volume d'échange (égal à la porosité utile estimée de l'éboulis) qui joue le même rôle d'inertie thermique et de tampon compositionnel pour l'air souterrain.

Le projet retenu est la réalisation d'une structure artificielle de type sas qui rétablirait la fonction de l'ancien talus, c'est-à-dire translater à l'extérieur de la galerie ornée l'interface d'échange aérodynamique de la grotte.

Un premier projet de M. Bernard Voinchet ACMH, complété par un calcul de dimensionnement de la structure a été accepté en commission nationale en 2010. En 2014, la commission supérieure des monuments historiques (6<sup>ème</sup> section) rappelle qu'un programme de travail technique et de conservation assorti d'un calendrier doit être élaboré.

L'avant-projet de M. Jean-Louis Rebière (ACMH) daté du mois de décembre 2018 a fait l'objet de plusieurs remarques émanant du Conservateur régional de l'archéologie, recommandations et prescriptions par une note du 8 février 2019. Elle s'en est suivie d'une expertise du LRMH en date du 13 novembre 2020, portant réflexion sur la nature du choix de la brique crue et de sa pertinence comme matériau de construction du sas, notamment en termes de résistance et de durabilité de ce matériau face aux conditions climatiques auxquelles il sera soumis sur le très long terme (conditions d'humidité élevées et de confinement dans un environnement karstique).

M. Jean-Louis Rebière ayant cessé ses activités fin 2022, il abandonne le projet au profit de l'agence C. Amiot, qui devient le nouvel Architecte en chef des monuments historiques territorialement compétent.

#### *C/ Données chiffrées*

L'analyse des données a montré que la première partie de la galerie d'entrée contenant peintures et gravures paléolithiques avait perdu son confinement souterrain. Le fonctionnement thermique et aérodynamique présente des anomalies : la clôture actuelle et la porte métallique se comportent comme un point chaud en été déclenchant une convection avec des condensations en partie basse du secteur orné principal et un assèchement des parois à proximité de l'entrée. En hiver, la condensation se produit sur la clôture et les parois gravées proches de l'entrée. Ces effets thermo-hygrométriques induisent une alternance d'assèchements et de condensations qui altèrent le support des vestiges. Le remplacement de la porte par un dispositif plus étanche en 2015 a amélioré la situation et réduit les fluctuations. L'identification de la dérive thermique a motivé un doublement des capteurs filaires par des thermomètres autonomes et de haute précision.

La poursuite du suivi instrumental basique et son extension (pose de capteurs dans le sas), permettra d'analyser correctement les effets de la remédiation quand le sas sera installé et d'indiquer les correctifs éventuels à apporter.

### **Grotte du Pech Merle à Cabrerets (Lot) – site classé MH (1951)**

#### *A/ Contexte sanitaire*

Il s'agit d'un site complexe karstique où les aménagements de surface et du milieu souterrain ainsi que les flux de visiteurs impactent le milieu souterrain et les conditions de conservation des vestiges. L'impact des visiteurs et le régime d'échange aérologique avec l'extérieur sont les thèmes principaux d'étude depuis le début du suivi en 1998 (températures, CO<sub>2</sub>). Les désordres les plus préoccupants concernaient l'état des parois et les contaminations microbiologiques. Ce dernier problème reste d'actualité avec des contaminations liées à l'impact des éclairages fixes qui délivrent l'énergie nécessaire au développement d'organismes chlorophylliens. Le réchauffement progressif de la cavité a motivé l'extension du suivi initial (températures, CO<sub>2</sub>, pression) à d'autres paramètres (égouttements, températures de haute précision, radon, évaporation) pour surveiller les évolutions de long terme.

#### *B/ Prescriptions de suivi environnemental*

Un premier travail sur le rôle de l'ouverture mené au début des années 2000 a relié les fortes variations saisonnières du contraste de la « frise noire » à la surventilation de la cavité. La porte d'accès basse peu étanche et l'entrée naturelle haute constituaient une grotte à deux entrées pour un site originalement ouvert par le haut. La restauration d'une fermeture étanche a permis de retrouver une stabilité thermique dans les secteurs archéologiques. Les états de paroi se sont spectaculairement modifiés sur la frise noire avec la stabilisation des dessins sur un niveau de contraste élevé en toutes saisons. Ce travail a aussi permis de développer pour le microclimat le concept de confinement souterrain et de le relier, au Pech Merle et dans d'autres grottes ornées, à des conditions optimales de conservation.

#### *C/ Données chiffrées*

Depuis 2015, un travail de fond a été mené au Pech Merle sur le fonctionnement des cavités karstiques. Il s'est appuyé sur les données d'un relevé 3D du réseau de cavités et d'une instrumentation augmentée pendant plusieurs années, préfigurant les opérations menées actuellement à Gargas. Le suivi des concentrations en radon 222, les mesures d'aérosols, la thermique fine ont fourni un modèle au régime général des ventilations, l'explication de sa saisonnalité et l'identification des transferts de gaz depuis le sol. La mise en évidence de nouveaux processus d'échange précise les secteurs à protéger en surface à l'égale d'entrées physiquement identifiées.

### **Abri de Lagrave à Faycelles (Lot) - site inscrit MH (2020)**

#### *A/ Contexte sanitaire*

Cet abri peu profond, découvert en 1999, recèle un panneau gravé d'une exceptionnelle frise d'animaux associée à une représentation féminine qui peuvent être attribuées au Magdalénien final (11 000 av. le présent). L'abri, sécurisé par une simple grille métallique, est soumis aux influences directes des conditions thermo-

hygrométriques du climat extérieur. Par ailleurs, plusieurs secteurs de la paroi ornée sont colonisés par des micro-organismes chlorophylliens responsables de dégradations du support rocheux : perte de cohésion et décollement de matière (rapport LRMH 2019).

#### *B/ Prescriptions de suivi environnemental*

Lors de l'expertise du LRMH du 24 septembre 2019, une mise en obscurité de l'abri a été recommandée afin de maîtriser la prolifération des algues qui semblaient gagner la frise gravée. Des panneaux rigides ont été installés en 2020 créant l'obscurité au sein de l'abri. Mais ceux-ci ont également modifié les conditions micro-climatiques internes de l'abri, provoquant des effets indésirables.

Dès juin 2021 des condensations extensives sont observées sur les voûtes et le panneau orné. Le phénomène a été ensuite mesuré montrant que, lors de la période où l'abri se comporte comme un point froid, et où des arrivées d'eau se produisent, les conditions de condensation sont atteintes en paroi. De plus, la clôture excessive empêche ou retarde l'évaporation. Suite à cette analyse, une partie de la clôture a été déposée et les orifices de communication avec l'extérieur ont été réouverts. Une nouvelle instrumentation a été posée pour suivre l'évolution du site.

Les états de paroi observés sont désormais satisfaisants. Le système de clôture et de ventilation actuel apparaît adapté à la bonne conservation des gravures préhistoriques de cet abri. L'ambiance intérieure est influencée par la situation météorologique : pluie et forte humidité de l'air extérieur augmentent le risque de condensation, cependant nous n'avons pas observé de problème en paroi, même après les plus forts cumuls de pluie. La mise au noir est efficace, l'amortissement thermique est présent, la ventilation résiduelle évite les humidités importantes liées aux échanges et aux infiltrations. La présence de chauves-souris ne constitue pas un problème conservatoire significatif tant que leur nombre reste faible.

### **Grotte de Bruniquel (Tarn-et-Garonne) – site classé MH (2021)**

#### *A/ Contexte sanitaire*

Cette grotte a été découverte après une désobstruction en 1990. Grâce aux progrès en matière de datation U/Th, les structures d'aménagement construites à partir de stalagmites ont pu être datées aux environs de – 176 500 ans et, par conséquent, attribuées à l'homme de Néandertal (article dans la revue *Nature* de 2016). Elles constituent une découverte exceptionnelle tant par leur ancienneté que par la qualité de leur conservation. Par ailleurs, la grotte a été préservée de l'intrusion humaine ou animale durant des millénaires, ce qui a permis la conservation des sols préhistoriques (nombreuses empreintes de faunes anciennes et traces de vestiges de fréquentations néandertaliennes).

Plusieurs problèmes conservatoires ont été identifiés et doivent être gérés. La présence d'une carrière (en activité avant la découverte de la grotte) à l'aplomb d'une large partie de galerie constitue la menace principale pour la préservation du site souterrain. Cette situation a généré une pollution intérieure par des arrivées de matières (fines de carrière). La question de la stabilité aérologique de la grotte s'est

posée lors de l'élargissement de la chatière pour des raisons de sécurité des personnes avec un risque de modification des échanges directs avec l'extérieur.

#### *B/ Prescriptions de suivi environnemental*

En conséquence, une surveillance climatique a été mise en place à partir de 2015. L'intérêt de cette vigilance climatique dans un site préservé et peu fréquenté est de fournir une référence pour les dérives climatiques souterraines.

Les données les plus remarquables du suivi thermique sont l'observation directe de l'impact du réchauffement climatique de surface. La profondeur des points de mesure fait que la saisonnalité est effacée donnant un signal pur de la dérive des températures souterraines à des vitesses différentes suivant les profondeurs. Cette évolution qui modifie à la fois les gradients thermiques et la position des points chauds et froids impacte probablement la circulation convective intérieure. Les pollutions ont été générées par l'activité de carrière avec l'ablation, à l'aplomb de secteurs de la grotte, d'un important volume de roche incluant le sol et l'épikarst qui constituent un filtre et un tampon physico-chimique pour les infiltrations. La gestion des eaux dans la carrière aurait stoppé les arrivées de matière réduisant les risques de pollution mais le réseau fissural est ouvert en surface et la sensibilité persiste, exposant la grotte à l'entrée directe et rapide d'eaux de surface. La chimie et le potentiel de corrosion (ou de précipitation) de l'eau d'infiltration n'est pas tamponné par le complexe sol-épikarst, les eaux peuvent aussi transporter des polluants liquides (hydrocarbures), solides (fines de carrière) ou en solution.

### **Article 2 : consistance des travaux**

Il s'agit de mettre en œuvre un ensemble de mesures, par l'intermédiaire d'outils adaptés, afin de permettre de mener les études et le suivi environnemental à objectif conservatoire dans les neuf cavités ci-dessus énumérées.

#### *A/ Opérations de maintenance des appareils de mesures*

La maintenance correspond aux visites au cours desquelles le prestataire sera tenu d'effectuer les vérifications nécessaires dans l'intention de réduire les risques de défaillance des instruments de mesure, d'enregistrement et d'acquisition et de garantir pour ces équipements un niveau de fonctionnement optimal proche des performances initiales.

Les opérations de réparation, d'étalonnage ou de renouvellement de l'appareillage sont à la charge du prestataire.

#### *B/ Collecte des données et veille sanitaire*

Outre la maintenance des instruments, les missions régulières sur les sites permettent la collecte des données (mesure en continu des paramètres pertinents sélectionnés pour chaque site en fonction des problématiques spécifiques de conservation).

Une observation visuelle attentive de l'état des parois ornées et une vigilance particulière concernant des indices de déstabilisation de l'environnement souterrain sont requises en complément des opérations liées au déploiement de l'instrumentation.

Le dialogue et le recueil des observations réalisées par les propriétaires, exploitants, concessionnaires et guides doivent être systématiques et toute anomalie, dysfonctionnement ou incident qui ressortirait de ces échanges immédiatement signalé à la DRAC Occitanie.

#### *C/ Analyse des données et élaboration de préconisations de mesures de conservation préventive*

Les données issues des chroniques obtenues par le monitoring sont susceptibles, après traitement et interprétation par le prestataire, de conduire ce dernier à émettre des préconisations et recommandations.

Le suivi environnemental doit fournir les éléments d'une aide à la décision susceptible d'entraîner des modifications des protocoles de visite actuellement en place ou des ajustements techniques des aménagements ou dispositifs de remédiation. Il peut se décliner de la manière suivante :

- maintenance des systèmes de mesures ;
- montage, déploiement sur site et maintenance d'installations de contrôle (capteurs, sondes...) y compris pose, dépose, calibrage et essais ;
- évaluation du fonctionnement métrologique des dispositifs de suivi régulier ou de mesure et la continuité des chroniques ;
- expertise et évaluation du degré d'obsolescence des installations de contrôle déployées dans les différents sites : élaboration d'un plan de remplacement des matériels sur quatre années ;
- mise en œuvre ponctuelle - et complémentaire du suivi environnemental - d'appareils adaptés à la caractérisation de perturbations de l'environnement souterrain (caméras thermiques...) ;
- suivi du fonctionnement naturel des sites et des effets sur le milieu souterrain des événements climatiques, des visites et des aménagements touristique et/ou de remédiation ;
- identification des éventuelles évolutions ou dérives des paramètres environnementaux et contribution à la recherche des causes locales ou globales, directes ou indirectes tant dans l'environnement souterrain immédiat de la grotte que dans la zone de sensibilité karstique interne et externe de cette dernière ;
- vérification de l'effectivité au regard des paramètres environnementaux des décisions relatives aux modifications des protocoles de visite et aux opérations de remédiation ou de réaménagement ;
- analyse des fonctionnements actuels des sites et appréciation de l'évolution de leurs qualités conservatoires au regard des impératifs de pérennité des œuvres pariétales et des structures paléolithiques ;

- communication d'observations, propositions, préconisations ou recommandations, à destination du maître d'ouvrage, relatives aux actions d'amélioration ou de remédiation pouvant être mises en œuvre ;
- développement de la connaissance sur la conservation des grottes ornées et du monde souterrain.

Par ailleurs, la Drac pourra être amenée à modifier les problématiques et les cycles d'étude en cours de réalisation sur certains sites, notamment à l'abri de Lagrave, aux grottes de La Vache et des Églises, en concertation avec le prestataire.

### **Article 3 : description des opérations de suivi environnemental par site**

Le programme des prestations attendues est détaillé ci-après pour chaque site.

#### **Grotte de Niaux (Ariège)**

L'ensemble des opérations de suivi est essentiellement concentré sur le Salon Noir (pour ce qui concerne les dispositifs statiques). Toutefois, le modèle de fonctionnement du site reste incomplet, particulièrement pour le transfert des eaux et l'aérogologie, paramètres critiques de la stabilité des vestiges, et devra être élargi à d'autres parties du karst.

Objectif du suivi : contrôle de l'impact de la fréquentation touristique et prévention des altérations des parois ornées du Salon Noir.

Opérations à poursuivre : un objectif est d'obtenir des éléments prédictifs pour les humidités pariétales. Différents axes de travail devront être explorés : 1) **A l'échelle du réseau jusqu'à Lombrives**. Il est envisageable de tester, dans des conditions contrôlées (instrumentation le long du réseau, mesures ponctuelles), une obturation de la communication avec Lombrives en vue de restaurer une ventilation naturelle. Les tests de mesure du niveau des lacs pourront être poursuivis (lac vert et lac terminal) pour évaluer le fonctionnement hydraulique. 2) **A l'échelle du Salon Noir**. Un travail sur l'aérogologie et les effets thermo-hygrométriques nécessite une instrumentation complémentaire du volume et des parties hautes du Salon noir et une mesure supplémentaire des eaux détournées par les gouttières en amont du cerf. 3) **A l'échelle des parois ornées**, la saisonnalité des phénomènes suggère d'évaluer l'impact des visites sur le micro-environnement des parois. Les moyens sont des mesures d'évaporations massiques et d'épaisseur des films humides en paroi grâce à de nouveaux instruments développés spécifiquement dans le cadre du programme de recherche DECACLIM (Piche automatique pour l'évaporation massique, capteur confocal pour l'épaisseur des films humides).

L'objectif est la meilleure compréhension et la prévision des risques de dégradation liés aux arrivées d'eau en paroi ornée. Un contrôle de l'impact des visites sera également assuré, en parallèle avec la surveillance visuelle et photographique des états de paroi.

## **Grotte du Mas d'Azil (Ariège)**

Objectif du suivi : contrôle de l'impact de la fréquentation touristique, des dispositifs et installations liés aux expositions et manifestations artistiques organisées dans les secteurs non ornés, des conséquences de la circulation routière dans la percée du Maz d'Azil, contrôle des effets des aménagements sur les galeries hautes comprenant des parties ornées, évaluation de la situation conservatoire de la Galerie Breuil, laquelle contient une part essentielle de l'art pariétal du site du Mas d'Azil.

Opérations à poursuivre : les opérations de rétablissement des conditions conservatoires et le contrôle de leur efficacité ont été réalisées ces 10 dernières années. Il s'agit aujourd'hui d'en suivre les évolutions à long terme pour le microclimat et les états de parois. L'attention doit notamment être portée à la Galerie Breuil dont la remédiation est récente et où les équilibres ne sont pas forcément atteints. L'effet du changement climatique est critique au Mas d'Azil avec une évolution nettement supérieure à +1 °C par décennie. Ce record pour une cavité karstique doit être expliqué rigoureusement. La présence de colonies de chiroptères est ancienne et a déterminé les morphologies de nombreuses parois. Ces peuplements ne sont pas sans problème pour l'intégrité des vestiges paléontologiques et archéologiques restant et doivent être surveillés. Les systèmes de mesure filaires ont été récemment remplacés par des capteurs autonomes de haute précision adaptés au suivi de l'impact du changement climatique en cours. Il s'agit de mesures de la température et de la pression qui permettent aussi d'apprécier les conditions de confinement et les impacts des visiteurs.

## **Grotte de La Vache, Alliat (Ariège)**

Objectif du suivi : contrôle de l'impact de la nouvelle fermeture de la grotte (printemps 2022) sur les fluctuations micro-climatiques identifiées comme étant à l'origine de la disparition des peintures pariétales.

Opération à poursuivre : le site est en phase de contrôle de l'effet des remédiations. Il s'agit de continuer à suivre l'évolution des paramètres du microclimat. Il faut prévoir une évolution de l'instrumentation, notamment de remplacer les thermo-hygromètres intérieurs qui se dégradent au bout d'une année sur site par des évaporomètres de Piche à lecture directe, et éventuellement par des Piches automatiques associés à des mesures de température de l'air et de la paroi. Il faudrait rééquiper la salle du fond dont le suivi n'était pas critique dans le réaménagement mais dont l'évolution est intéressante dans le contexte de forte dérive thermique identifié sur le site.

## **Grotte des Églises, Ussat (Ariège)**

Objectif du suivi : évaluer l'état de conservation de l'art pariétal de la galerie et réaliser une étude climatique et environnementale, pour comprendre les phénomènes de condensation observés, puis proposer des mesures de remédiation.

Opération à réaliser : instrumenter le site pour analyser l'évolution de la température air et paroi et de l'humidité dans la galerie (contexte immédiat des panneaux ornés,

zones d'entrées...), complété par des observations ponctuelles de l'état des parois lors des visites. Identifier les causes des phénomènes de condensation et envisager des mesures pour les atténuer, voire les supprimer.

### **Grotte de Gargas, Aventignan (Hautes-Pyrénées)**

Objectif du suivi : contrôle de l'impact de la fréquentation touristique, étude des échanges d'air avec l'extérieur et relation avec les états observables de paroi et leurs évolutions saisonnières. L'objectif est d'atteindre à une meilleure compréhension des effets d'assèchement en paroi avec les échanges thermiques et le fonctionnement aéraulique du site.

Opérations à poursuivre : depuis 2023, la grotte de Gargas est au centre des problématiques du programme de recherche DECALIM (programme ANR) et notamment pour l'appréhension des conséquences du réchauffement climatique général au sein des systèmes karstiques. Les effets du changement climatique sur le milieu souterrain induisent une complexité microclimatique nouvelle, porteuse de changements inédits depuis des milliers d'années. De ce fait, les concepts et les critères utilisés dans l'approche conservatoires des grottes ornées (stationnarité des chroniques, paramètres souterrains critiques) doivent être réévalués.

Les analyses et les modèles prédictifs élaborés par le programme DECACLIM devront être confrontés à la réalité de terrain et aux éléments d'observation tirés du cas de Gargas (données, états de paroi) pour sélectionner des stratégies conservatoires. Les développements actuels concernent **1) les transferts thermiques** : les résultats des mesures en continu sur des profils en long et verticaux doivent être mis en cohérence avec les modèles ; **2) les effets aérologiques** qui résultent de la modification des gradients et de la position des points chauds et froids aux différentes saisons ; **3) les modifications de l'état des interfaces au niveau des parois ornées** avec les assèchements et humidifications résultant des phénomènes convectifs.

Le suivi instrumental en continu se poursuivra sur les points de mesure de température pertinents, sur les marqueurs environnementaux : couple radon/CO<sub>2</sub>, et sur l'évaporation massique. Les évolutions techniques des appareils (anémomètres adaptés aux conditions souterraines, Piches automatiques) devront continuer à être testées sur le site de développement. L'évaluation des impacts des visites sur l'environnement souterrain devra encore être analysée.

### **Grotte des Fées, Marsoulas (Haute – Garonne)**

Objectif du suivi : suivi climatologique de la cavité et accompagnement du projet de construction d'une structure de type sas sur la zone d'entrée et en surface dans le but de remédier aux phénomènes de dégradation continue des parois ornées situées dans la partie antérieure de la grotte (projet de l'Architecte en Chef des Monuments Historiques).

Opérations à poursuivre : les progrès réalisés dans l'instrumentation, la modélisation et l'identification des processus de dégradation des parois permettent d'envisager de

préciser le microclimat intérieur et d'améliorer le modèle d'échange entre la grotte et l'extérieur. À l'intérieur, il s'agit de caractériser la position des masses d'air, leurs circulations et les quantités d'eau transportées. Un profil de mesure vertical combinant l'évaporation et la thermique pourra être installé dans la zone la plus menacée, il sera associé à un suivi visuel des états de paroi et des phénomènes saisonniers générant potentiellement des altérations. Notons que l'instrumentation (station Campbell et capteurs reliés en filaire) qui avait été conçue pour le suivi des travaux de remédiation peut aujourd'hui être remplacée par des capteurs autonomes capables de suivre les effets de dérive thermique qui sont déjà installés et doublent les mesures filaires. Au cours de la réalisation des travaux de remédiation, il faudra adapter le système de suivi au contrôle de l'efficacité de la nouvelle structure tout en maintenant les mesures à long terme en cours. Des systèmes de suivi radon/CO<sub>2</sub> pourront compléter le dispositif.

### **Grotte du Pech Merle, Cabrerets (Lot)**

Objectifs du suivi : évaluation des impacts de la fréquentation touristique et des aménagements qui lui sont dédiés dans le site souterrain et éventuellement des modifications anthropiques apportées en surface ou sur les ouvertures (hall d'accueil, entrée public). Observation des états de paroi, particulièrement de la frise noire (contaminations biologiques traitées par UVc), du panneau aux chevaux et des mains rouges. Par ailleurs, il s'agira également de vérifier que la dérive thermique issue du changement climatique, ajoutée aux impacts anthropiques locaux, ne génère pas de problèmes conservatoires.

Opérations à poursuivre : le suivi conservatoire aura pour objectif prioritaire d'évaluer les effets du changement climatique en cours dont l'impact en termes de réchauffement de la grotte va maintenant au-delà de l'effet des visiteurs. Un travail sur les contaminations microbiologiques autour des points lumineux est aussi nécessaire. L'effort du gestionnaire de la grotte pour réduire l'impact de l'éclairage doit être accompagné par des traitements adaptés afin d'éviter à la fois l'altération des œuvres et la dissémination des microorganismes à partir de foyers actifs. L'efficacité des traitements par UVc sur les panneaux ornés a été validé sur ce site ; il serait cependant utile de développer un système adaptable aux différentes situations déjà identifiées (maîtrise du champ d'irradiation). Les instruments dédiés au suivi des températures et de l'infiltration sur le long terme sont en place en surface et dans la grotte. Il est possible d'envisager, couplé avec le CO<sub>2</sub>, un suivi radon qui fournirait un indicateur de l'évolution des mécanismes de transfert de ces gaz et de l'aérologie interne du site. L'effet des visiteurs devra continuer à être documenté (fréquentation de l'ordre de 80 000 visiteurs annuellement).

### **Abri de Lagrave, Faycelles (Lot)**

Objectif du suivi : contrôle des conditions de conservation à l'intérieur de l'abri et de l'état de la paroi ornée.

Opération à poursuivre : l'analyse des données du suivi instrumental a révélé les évolutions problématiques et permis de recommander la dernière remédiation (augmentation des échanges) qui donne satisfaction sur la durée observée. On

poursuivra le suivi dans les mêmes conditions. Elle nécessitera le remplacement des thermo-hygromètres mais la durée de vie des appareils sur ce site (2 à 3 ans) reste suffisante pour être considérée comme de l'entretien.

### **Grotte de Bruniquel (Tarn-et-Garonne)**

Objectif du suivi : contrôle de l'évolution des conditions climatiques et environnementales de la cavité et fournir un modèle de référence pour les dérives climatiques souterraines.

Opération à poursuivre : le suivi thermique sera poursuivi d'autant qu'une station profonde montre une inflexion récente de sa pente d'évolution. Les transferts de chaleur vers la grotte pourront être modélisés. Une vigilance reste nécessaire sur l'introduction directe de polluants, l'évolution de la chimie des eaux d'infiltration, les dépôts de calcite moderne et l'évolution des gours au niveau de la structure. La limitation du travail réside dans la fréquence des visites pour un suivi analytique. Les capteurs thermiques et de débit sont adaptés au suivi de long terme avec des relevés à fréquence annuelle. La station de suivi climatique de surface peut être remplacée par un équipement plus léger (pluviométrie, température et pression), le complément des données de la station météo-France de Puycelsi au pas horaire étant maintenant accessible en ligne.

### **Article 4 : restitution des études**

Un rapport d'opération écrit est livré au redevable à la fin de chaque année sous format papier en trois exemplaires et sous format numérique.

Il comporte, outre le texte, des graphiques, schémas, tableaux et photographies nécessaires à la présentation exhaustive des résultats et à leur interprétation pour les opérations de suivi environnemental en cours dans les neuf grottes ornées, classées ou inscrites au titre des Monuments Historiques, objet de la commande de travaux par la DRAC Occitanie.

Ce document doit, dans ses conclusions, clairement mettre en exergue et évaluer les risques potentiels ou les dérives ou désordres identifiés.

Le rapport présente pour chaque grotte un rendu du suivi environnemental, qui s'appuie sur les chroniques des paramètres physico-chimiques mesurés, sur une analyse de leur contenu et sur une interprétation de ces données avec pour objectif d'identifier toute anomalie pouvant affecter la stabilité de l'environnement souterrain et nuire ainsi aux conditions de conservation des sites et des vestiges qu'ils contiennent.

Lorsque c'est nécessaire, des solutions techniques de remédiation sont recherchées et proposées.

Il fera également l'objet d'une présentation orale auprès des services patrimoniaux de la Drac Occitanie.

## **Article 5 : livraison des données et archivage**

Outre le rapport d'opération décrit dans l'article précédent, l'intégralité des données acquises dans le cadre du suivi environnemental des grottes ornées objet du présent cahier des clauses techniques particulières devra être livrée par le prestataire sous une forme et des formats permettant l'interopérabilité.

Les données brutes et traitées seront stockées à terme par le maître d'ouvrage au Laboratoire de Recherche des Monuments Historiques, Département grottes ornées, du ministère de la Culture.

Les fichiers seront livrés via un dépôt sur un serveur FTP dont l'adresse sera fournie par l'interlocuteur technique de la DRAC Occitanie.

La livraison des données sous forme numérique sera accompagnée d'un rapport contenant le descriptif méthodologique, avec mention des matériels utilisés pour les différents types d'acquisition de paramètres physico – chimiques environnementaux.

L'ensemble des données brutes et traitées ainsi que leurs dérivés devront pouvoir être utilisés dans des développements ultérieurs, notamment pour les besoins de recherches spécifiques ou de valorisation patrimoniale et de diffusion auprès du public.

Ces travaux sont susceptibles d'être confiés à d'autres prestataires que celui qui aura réalisé le suivi environnemental, objet du présent cahier des clauses techniques particulières.

## **Article 6 : qualifications requises**

Les candidats devront posséder les compétences spécifiques et un savoir-faire dans le domaine du suivi environnemental à objectif conservatoire dans des grottes ornées paléolithiques.

À ce titre, ils produiront impérativement, à l'appui de leur candidature, des justificatifs prouvant leurs activités de travaux, d'études et de recherche menées de façon continue - au moins au cours des cinq dernières années.

Compte-tenu de la dimension touristique de quatre des cinq sites concernés et des enjeux qui s'y attachent, ils devront également attester d'une expérience avérée dans la maîtrise des problématiques conservatoires des œuvres pariétales dans le contexte de cavernes aménagées pour le tourisme.

Enfin, une attention toute particulière sera portée à la qualité et aux supports éditoriaux des publications des candidats issues des travaux, études et recherches antérieures dans les domaines susmentionnés.

## **Article 7 : Interlocuteurs techniques**

Les noms des interlocuteurs techniques du ministère de la Culture (Direction Régionale des Affaires Culturelles d'Occitanie, Service Régional de l'Archéologie, site de Toulouse) seront communiqués au prestataire retenu à la notification de la commande.

Les candidats doivent indiquer dans leur mémoire technique le nom de l'interlocuteur technique de leur entreprise pour le présent marché.

Tout changement d'interlocuteur en cours de réalisation de la commande sera porté à la connaissance des autres parties par télécopie et courrier.

## **Article 8 : sécurité des personnels**

Toutes les mesures indispensables à la sécurité des personnels pour des travaux en milieu souterrain devront être prises par le prestataire retenu.

Les personnels disposeront obligatoirement d'un éclairage électrique portatif d'une autonomie suffisante pour la durée de présence dans la grotte prévue par le programme d'intervention.

Le prestataire s'assurera de l'état de santé et de la bonne condition physique de chacun des membres de l'équipe qu'il déploiera pour les travaux en milieu souterrain. Il veillera tout particulièrement à ce qu'il n'existe aucune contre-indication médicale à cet exercice spécifique pour chacun de ses personnels.

## **Article 9 : engagement de confidentialité**

Le titulaire est tenu, ainsi que l'ensemble de son personnel et, le cas échéant, de ses experts et fournisseurs, au secret professionnel et à l'obligation de confidentialité pour tout ce qui concerne les faits, informations, études, données, illustrations, dont il a ou aura eu connaissance au titre de l'exécution du marché.

Il s'interdit notamment toute communication écrite ou verbale sur ces sujets et toute remise d'informations et/ou de données sur quelque support que ce soit à des tiers. Le non-respect de ces dispositions est considéré comme une faute de nature à conduire la DRAC Occitanie à demander la résiliation du présent marché.

Conformément à l'article 34 de la loi informatique et libertés modifiée, le titulaire s'engage à prendre toutes précautions utiles afin de préserver la sécurité des informations et notamment d'empêcher qu'elles ne soient déformées, endommagées ou communiquées à des personnes non autorisées.

Le titulaire s'engage donc à respecter les obligations suivantes et à les faire respecter par son personnel :

- ne prendre aucune copie des documents et supports d'informations qui lui sont confiés, à l'exception de celles nécessaires à l'exécution de la présente prestation prévue au marché ; l'accord préalable du maître du fichier est nécessaire ;
- ne pas utiliser les documents et informations traités à des fins autres que celles spécifiées au présent marché ;
- ne pas divulguer ces documents ou informations à d'autres personnes, qu'il s'agisse de personnes privées ou publiques, physiques ou morales ;
- prendre toutes mesures permettant d'éviter toute utilisation détournée ou frauduleuse des fichiers informatiques en cours d'exécution du marché ;
- prendre toutes mesures de sécurité, notamment matérielles, pour assurer la conservation et l'intégrité des documents et informations traités pendant la durée du présent contrat ;
- et en fin de marché, à procéder à la destruction de tous fichiers manuels ou informatisés stockant les informations saisies dont il n'aurait plus l'utilité.

La DRAC Occitanie se réserve le droit de procéder à toute vérification qui lui paraîtrait utile pour constater le respect par le titulaire des obligations précitées.

En cas de non-respect des dispositions précitées, la responsabilité du titulaire peut être également engagée sur la base des dispositions des articles 226-17 et 226-22 du nouveau code pénal.

La DRAC Occitanie pourra demander la révocation du titulaire, sans indemnité en faveur du titulaire, en cas de violation du secret professionnel ou de non-respect des dispositions précitées.

Ces dispositions ne font pas obstacle à l'utilisation des résultats et des synthèses scientifiques ou techniques issues des travaux de suivi environnemental et de recherche dans les cavités - objets du présent cahier des clauses techniques particulières - à des fins de publications dans des revues, ouvrages personnels ou collectifs ainsi qu'aux communications et interventions orales de même nature avec support illustratif lors de colloques, congrès ou symposiums ou encore dans le cadre d'interventions à objectif pédagogique, d'enseignement et de formation professionnelle.

## **Article 10 : Assurances**

### Responsabilités civiles

Le titulaire est responsable, tant en vertu du droit commun que de ses engagements contractuels, des dommages de toute nature dont lui-même, ses préposés, la DRAC Occitanie, les personnels de la DRAC ou des tiers pourraient être victimes ou que leurs biens pourraient subir, à l'occasion de l'exécution du marché.

## Assurances

Le titulaire doit produire et maintenir en cours de validité les polices d'assurances nécessaires afin de couvrir, pour un montant suffisant, les risques et responsabilités lui incombant tant en vertu du droit commun que de ses engagements contractuels. Les assurances sont maintenues jusqu'à complète exécution des prestations.

À ce titre, le titulaire doit produire, avant tout commencement d'exécution, une attestation de son assureur indiquant la nature, le montant et la durée des garanties souscrites, les activités, la nature des prestations ou *missions garanties*. En tout état de cause, la garantie doit être suffisante et celle concernant les dommages corporels sans limitation de somme.

En cas d'insuffisance du montant de la garantie, la DRAC Occitanie se réserve le droit de demander au titulaire de la porter à un montant plus élevé, sans que celui-ci puisse prétendre revenir sur les prix fixés par le marché.

Le titulaire s'engage à informer expressément la DRAC Occitanie de toute modification de son contrat d'assurance.

Le titulaire doit également être assuré contre les dommages causés par ses véhicules ou ceux loués qu'il utilise pour l'exécution du marché (sur voies publiques ou en propriétés privées), conformément aux dispositions légales en vigueur.

## **Article 11 : droit – Langue**

En cas de litige, le droit français est seul applicable.

Le Tribunal administratif de MONTPELLIER est seul compétent.

Sauf mention contraire au présent CCP, les correspondances relatives au marché sont rédigées en français et adressées au Directeur Régional des Affaires Culturelles d'Occitanie, autorité représentant le pouvoir adjudicateur.