

LE PROBLÈME DE LA CONSERVATION DES OEUVRES PARIÉTALES

A. Mangin, C. Andrieux, M. Bakalowicz, D. D'Hulst et J. Daffis*

1. POSITION DU PROBLÈME

L'étude de l'environnement souterrain a considérablement progressé ces dernières années. Notamment, le fait de replacer tous les échanges thermiques, hydriques et gazeux dans le cadre du fonctionnement des karsts en tant qu'aquifère, permet de bien maîtriser la DYNAMIQUE DE CES ÉCHANGES; il en autorise même la simulation. Parallèlement, les préoccupations en matière de conservation des grottes, préoccupations dépassant d'ailleurs largement le cadre des oeuvres pariétales préhistoriques, puisqu'elles concernent également les cristallisations, ont conduit à poser des questions de plus en plus précises et très concrètes quant aux conditions d'exploitation de ces cavités.

Les réflexions formulées ici correspondent aux résultats de recherches menées par le laboratoire souterrain du C.N.R.S. à Moulis dans ce domaine depuis plus de vingt ans. Les cavités ayant été l'objet d'études approfondies sont les grottes de Niaux et de Bèdeilhac en Ariège, le gouffre d'Esparros dans les Hautes Pyrénées, la grotte de Cabrespine dans l'Aude et plus récemment la grotte du Pech-Merle dans le Lot; toutes ces cavités sont situées dans le sud de la France. Dans tous les cas, le problème à résoudre portait sur les conditions d'aménagement et de visite en relation avec la conservation.

Tel que ce problème était posé, il supposait que soient établies les relations entre les conditions environnementales du milieu souterrain, sur lesquelles interféraient la fréquentation de la cavité, et la dégradation éventuelle des oeuvres pariétales préhistoriques. Le tableau 1 synthétise les mécanismes mis en jeu —les éléments en interaction sont l'environnement souterrain, les peintures et le support des peintures (la paroi). Si en matière d'environnement souterrain, il est aisé, à l'heure actuelle, d'en étudier les paramètres physico-chimiques et d'en suivre l'évolution, il en va différemment pour le support et les peintures. Pour le support, seuls quelques mécanismes ont pu être abordés: dissolution des calcaires sous l'effet d'eau agressive, calcification ou entraînement du pigment par lessivage. Pour les peintures, il serait nécessaire de posséder de bonnes connaissances de leur nature et de leur structure, ce qui n'est pas le cas. La difficulté est encore accrue du fait de l'absence d'informations précises sur l'incidence des interrelations entre ces trois éléments. Or, ce sont ces relations qui définissent les conditions de conservation ou d'altération. Ajoutons enfin que ces relations peuvent intervenir différemment par rapport à l'échelle du temps, avec des actions à court terme et d'autres à long terme. Les premiè-

res sont souvent évidentes, soudaines et bien visibles et permettent des interventions, même si les mécanismes qui interviennent nous échappent. En revanche, les secondes sont extrêmement difficiles à mettre en évidence, mais peuvent être beaucoup plus préjudiciables à l'échelle de plusieurs décennies.

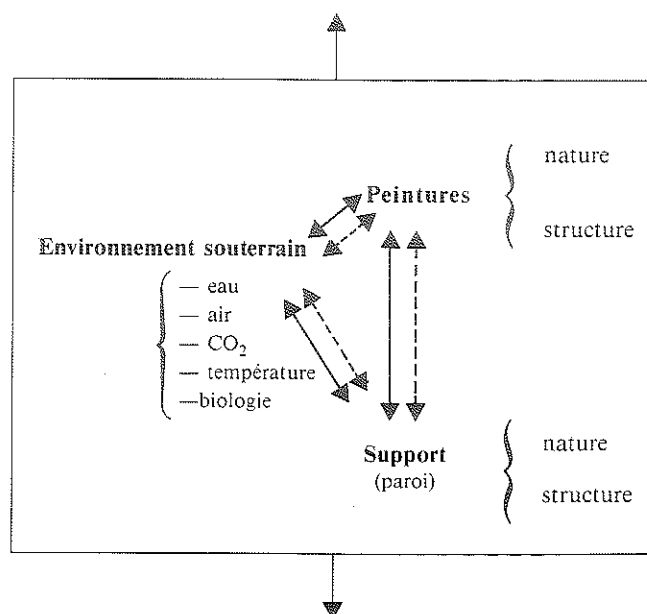
La réflexion menée à ce propos aboutit aux conclusions suivantes.

1. En l'état actuel de nos connaissances, il n'est pas possible de rendre compte très exactement et de façon exhaustive des mécanismes responsables de la dégradation des oeuvres pariétales préhistoriques. On ne saurait, par conséquent, définir avec précision l'impact des visites et déterminer ainsi de façon scientifique les seuils de fréquentation.

2. Toutefois, ce problème peut être abordé de façon différente. Durant des millénaires, les peintures se sont conservées alors que les paramètres environnementaux se sont modifiés, et parfois de façon importante; or, avec des variations plus faibles, mais à très court terme, on assiste,

TABLEAU 1

Conservation



Altération

← actions à court terme → ← actions à long terme →

* Laboratoire Souterrain du C.N.R.S. Moulis. 09200 Saint Giron

sans contestation possible, à une détérioration des oeuvres pariétales. La prise en compte de ce facteur temps a conduit à définir une notion fondamentale, celle de **régulation**. Toute perturbation introduit un excès d'énergie que la grotte est capable d'absorber ou non. Lorsque ce n'est plus possible, cet excédent d'énergie déclenche des manifestations, dont certaines sont indiscutablement préjudiciables à la conservation des oeuvres pariétales. Par conséquent, c'est par l'intermédiaire de l'étude des mécanismes de régulation d'une cavité qu'il va être désormais possible d'aborder les problèmes de conservation.

Cette réflexion a conduit à adopter la démarche suivante.

—Etudier les paramètres définissant les conditions environnementales de la grotte et analyser comment sont régulées leurs variations lors de perturbations;

—Mettre en évidence tout phénomène pouvant traduire un dérèglement de cette régulation, ce qui est formulé par la notion de **déstabilisation**.

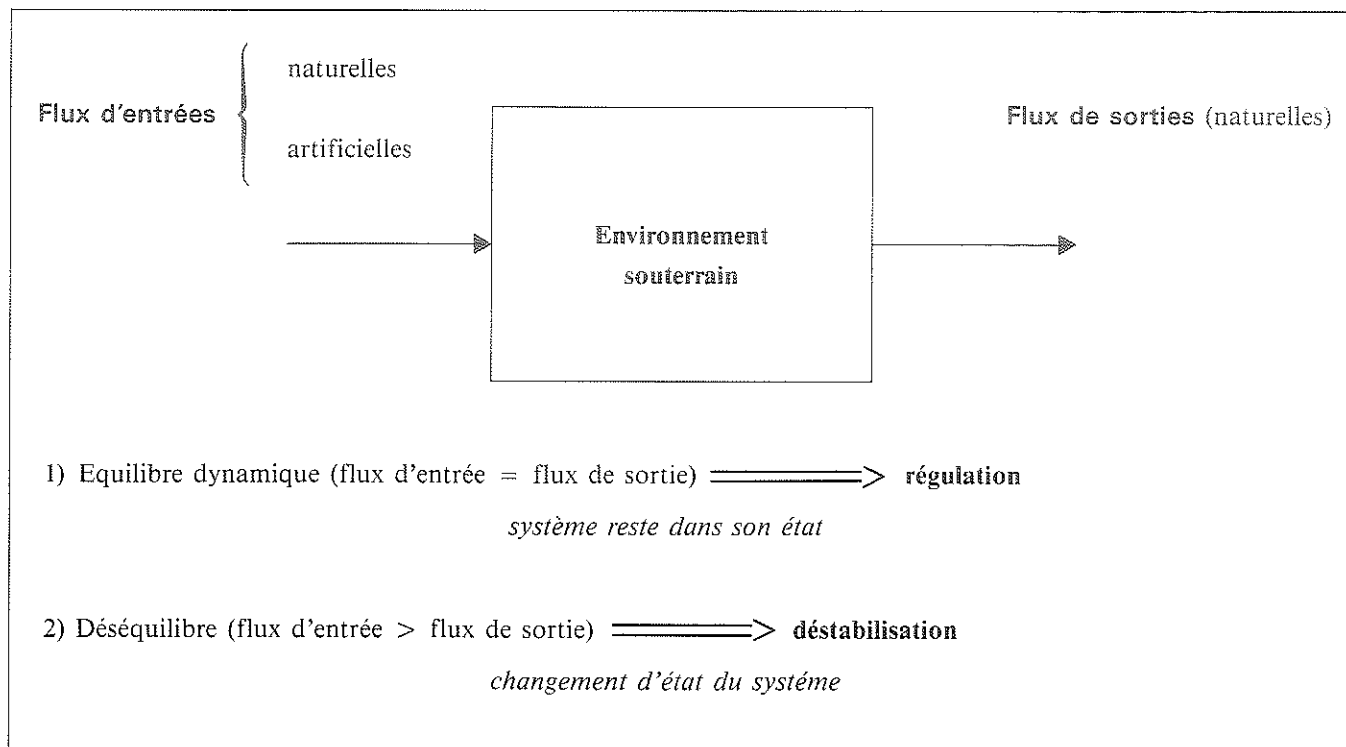
—C'est donc en terme de dynamique du système que le problème est posé et peut être résolu tel que cela est formulé dans le tableau 2.

Le programme de l'étude est conçu de la manière suivante:

1. Interventions ponctuelles afin d'estimer les échanges gazeux entre la cavité et l'extérieur; réalisation de profils thermiques, de teneur en CO_2 et d'humidité pour des conditions estivales et des conditions hivernales. Le but de ces interventions est de définir les caractéristiques générales de l'environnement souterrain de la grotte et de déterminer les mécanismes responsables des échanges gazeux, thermiques et hydriques avec l'extérieur.

2. En fonction des résultats obtenus lors de ces interventions ponctuelles, des stations sont choisies pour l'enregistrement de la température de l'air, de son humidité, de la pression atmosphérique, ainsi que de la teneur en CO_2 . Conjointement, une évaluation de la fréquentation de la

TABLEAU 2



grotte est faite (nombre de visiteurs entrant dans la grotte, avec indication des heures d'entrée et de sortie).

Différents modèles de simulation peuvent alors être réalisés pour rendre compte des relations entre les visiteurs et les paramètres de l'environnement souterrain. Certains de ces modèles sont testés à partir des données d'observations réelles. Grâce aux résultats obtenus, il est possible de déceler les moments où la cavité ne régule plus et, donc, d'identifier par là-même des indicateurs de cette déstabilisation.

Afin d'illustrer ce propos, nous prendrons l'exemple d'une étude réalisée dans la grotte du Pech-Merle (Quercy, France) de septembre 1989 à octobre 1990.

2. PRESENTATION SOMMAIRE DE LA GROTTE DU PECH-MERLE.

La grotte du Pech-Merle se développe sous un plateau calcaire limité au nord par la vallée sèche du Pech del Mas, à l'est par la vallée du Célé, au sud par le ravin du Combel et à l'ouest par la vallée de la Sagne. Ce plateau, qui culmine à 366 m., fait partie du Causse de Gramat, dont il présente les principaux aspects géomorphologiques et géologiques.

La grotte du Pech-Merle appartient à un ensemble de cavités situées sensiblement à la même altitude (entre 280 et 300 m) et présentant des caractères voisins. Toutes ces grottes sont les témoins d'une ancienne karstification, actuellement sans aucune activité hydrologique, abandonnée au profit d'un drainage souterrain plus profond se raccordant aux vallées principales de Célé et du Lot.

Comme pour l'ensemble du Causse de Gramat, le plateau karstique du Pech-Merle représente les restes d'une ancienne surface d'érosion complexe, jalonnée de dépôts continentaux généralement rouges, le Sidérolitique. Ces sédiments, souvent remaniés, comblent au moins en partie de nombreuses cavités et des dépressions du Causse. A proximité de la grotte du Pech-Merle, il est possible d'observer ces dépôts dans une ancienne carrière. Ils témoignent de l'existence d'un colmatage argilo-sableux considérable, que l'on retrouve en partie dégagé par l'érosion dans la grotte elle-même.

La grotte est constituée de près de 1000 m de galeries spacieuses, larges de 10 à 30 m, mais où la distance sol-voûte n'excède pas 5 m dans les secteurs les plus dégagés. Il existe plusieurs ouvertures situées à des altitudes différentes:

- l'entrée naturelle, ou entrée de la grotte David (302 m).
- le puits du jour, donnant accès à la galerie du Combel, ou entrée paléolithique (278 m).

— L'entrée artificielle, donnant dans la galerie principale (282 m).

Les nombreux témoins de sédiments observables à la voûte et dans les fissures montrent que la cavité a été totalement colmatée par des dépôts argileux qui ont été ensuite en partie entraînés par soutirage. Cette phase de vidange partielle des sédiments a été suivie par un très important concrétionnement stalagmitique qui constitue l'un des attraits remarquables de la grotte.

Ainsi, la grotte du Pech-Merle se présente comme un élément d'un paléokarst en partie colmaté, maintenant situé dans la zone d'infiltration du plateau, à faible profondeur sous la surface et présentant une faible dénivellation (37 m) entre ses points les plus hauts et les plus bas.

3. L'ENVIRONNEMENT SOUTERRAIN DE LA GROTTE DU PECH-MERLE

Après avoir rappelé la procédure utilisée, nous indiquerons les principaux résultats de cette étude assortis d'un commentaire sur les problèmes posés par la conservation des oeuvres pariétales.

3.1 PROCEDURE UTILISEE POUR L'ETUDE

3.1.1. Mesure des paramètres

1. Interventions ponctuelles.

Ces interventions, une en été et une en hiver, ont porté sur 11 stations et concernent les mesures de flux d'air (sens et débit), de la température de l'air et du sol, de l'humidité, de la teneur en CO₂ et de la pression atmosphérique. En cas de présence d'eau, des prélèvements ont été effectués à des fins d'analyse.

Le but était de déterminer les caractéristiques de la cavité, l'importance des échanges avec l'extérieur et les mécanismes déterminant ces échanges (pression motrice, pression atmosphérique...).

2. Obtention des chroniques.

Enregistrement sur plusieurs mois de la température de l'air, de l'humidité, de la pression atmosphérique et de la teneur en CO₂.

3.1.2. Traitement des données.

L'analyse des chroniques à partir des techniques de traitement du signal (analyses corrélatoire et spectrale) permet de déterminer les caractéristiques de ces chroniques (tendance, composantes périodiques et aléatoires). Cette étude, couplée avec l'enregistrement de la fréquentation de

la cavité, montre, à l'aide des mêmes analyses, l'effet des visites sur la modulation des chroniques. Elle débouche sur des possibilités de simulation.

3.1.3. *Le problème de la conservation: démarche conceptuelle.*

En l'absence de données précises sur l'évolution à long terme des oeuvres pariétales en fonction de celle des facteurs environnementaux, le problème a été abordé en se référant à trois notions fondamentales: l'**inertie**, la **régulation** et la **déstabilisation** du milieu dans lequel se trouvent ces oeuvres pariétales.

3.1.4. *Interprétation.*

Une telle démarche implique que les résultats obtenus à l'aide des différentes méthodes de traitement proposées soient lus à travers ces concepts d'inertie et de régulation. Cela conduit à rechercher toute anomalie qui traduirait un dérèglement des paramètres, permettant d'identifier une déstabilisation. En effet, sauf altération spectaculaire, les effets lents, progressifs et insidieux d'une trop forte fréquentation de la cavité sur l'intégrité des oeuvres pariétales ne se traduisent jamais par des modifications directement mesurables.

3.2. RESULTATS OBTENUS

3.2.1. *A partir des mesures ponctuelles.*

Les échanges gazeux entre la cavité et l'extérieur sont faibles et sous la dépendance exclusive de variations de la pression atmosphérique (les variations de la température extérieure ne jouent aucun rôle dans cette dynamique).

La température est stable, avec un faible gradient de l'entrée de la grotte vers sa profondeur.

Le CO₂ a une répartition homogène avec des teneurs proches de celles du sol.

Tous ces résultats montrent que l'on a affaire à une cavité aux conditions homogènes et stables, confirmant qu'elle est bien située dans un paléokarst très colmaté.

3.2.2. *A partir des enregistrements.*

Les enregistrements de la température et du CO₂ présentent deux types de variations. Les premières, à long terme, traduisent une évolution saisonnière, mais présentent une très faible amplitude; elles confirment la grande stabilité du milieu. Les secondes, à court terme, avec des amplitudes notables, sont liées aux visites.

L'analyse de ces perturbations indique que:

—la diffusion de la chaleur s'effectue uniquement par convection rapide, avec une dissipation importante dans le milieu ambiant (forte atténuation);

—la diffusion du CO₂ est plus lente et semble répondre à des mécanismes plus complexes.

Ces résultats sont l'indice d'un comportement très inertiel de la grotte (faibles variations à long terme) et d'un fort pouvoir de régulation que traduit la rapide dissipation de effets des visites. La grotte fonctionne comme un échangeur sur le plan thermique. Son volume est estimé à 5.000 m³ et sa surface spécifique serait énorme.

L'humidité reste relativement stable tout au long de l'année. Cependant, au moment des fortes fréquentations (juillet et août), comme pour la température et le CO₂, l'effet des visites provoque des variations notables de ce paramètre (Fig. 1). Ces variations traduisent l'existence de phénomènes d'évaporation. Ce mécanisme apparaît comme un effet compensatoire à l'excès d'énergie thermique lorsque la grotte ne peut plus réguler l'apport de chaleur dû aux visites. Dans ces conditions, l'humidité peut être utilisée comme un indicateur d'une déstabilisation.

Les observations réalisées sur l'évolution de ce paramètre montrent, qu'au delà du seuil de 630 visiteurs par jour, pour la saison estivale de 1990, la cavité du Pech-Merle **ne régule plus**. Ce phénomène est réversible.

3.3. COMMENTAIRES SUR LES RESULTATS. MESURES A PRENDRE.

Le but de l'étude, tel que l'avait explicité la Commission Supérieure des Monuments Historiques (VII^e section, grottes ornées), concernait "les conditions de visite et les problèmes de conservation, en visant à déterminer de façon scientifique le seuil de fréquentation". On a vu comment ce problème est délicat, puisqu'il est difficile d'établir des relations directes entre les variations de paramètres physico-chimiques d'une cavité et la dégradation des oeuvres pariétales préhistoriques; d'où la méthodologie proposée.

L'impression qui ressort des résultats est l'énorme inertie de la cavité du Pech-Merle qui traduit un milieu très stable: présence d'un gradient thermique, homogénéité du CO₂ et de l'humidité, faibles échanges avec l'extérieur... Cette inertie implique une très forte régulation. C'est ainsi que, malgré le volume restreint de la cavité (5.000 m³), l'élévation de la température, lors des fortes fréquentations, est 65 fois plus faible que ce qu'elle devrait être théoriquement (simulation). La surface spécifique considérable de la cavité joue certainement un rôle majeur dans ce phénomène

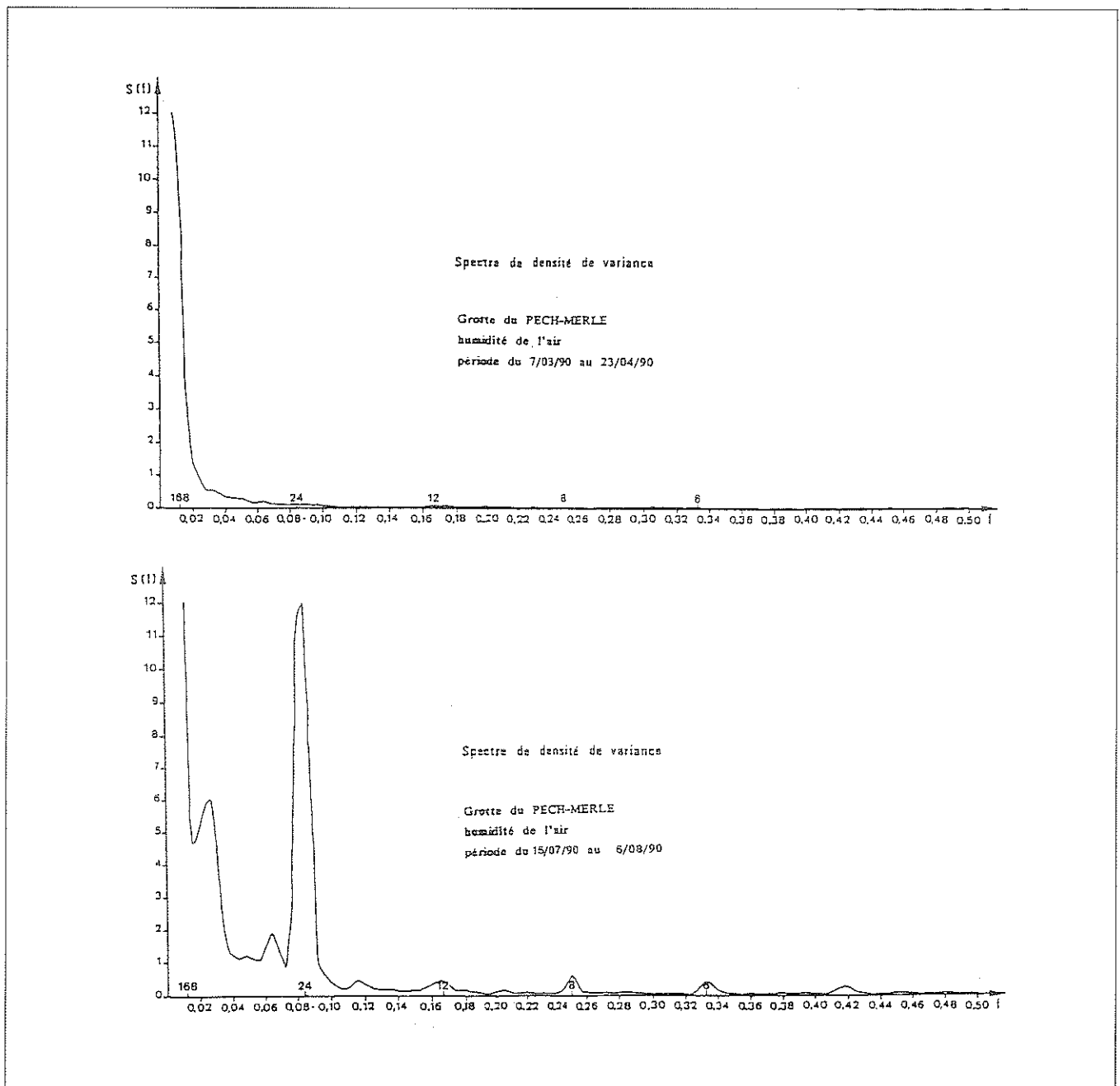


Figure 1: Les spectres traduisent de façon synthétique l'évolution de l'humidité de l'air au cours du temps. Pour le premier intervalle de temps, il montre seulement des valeurs fortes aux basses fréquences, soit à long terme, indiquant une lente évolution de l'humidité du 7 mars au 23 avril. Pour le deuxième intervalle de temps du 15 juillet au 6 août s'ajoutent à cette évolution des variations périodiques à 6, 8, 12 et surtout 24 heures qui correspondent aux visites de la cavité.

De ce fait, on aurait pu s'attendre à ce que la capacité d'accueil de la grotte soit très importante; c'est d'ailleurs ce que la simulation prévoyait, à condition bien sûr qu'aucun autre mécanisme n'intervienne. Or, l'observation a montré qu'il n'en était rien, puisque, au delà de 630 personnes par jour, apparaît précisément un phénomène jusqu'alors absent: c'est l'évaporation généralisée. En effet, l'humidité de l'atmosphère, stable au-dessous de ce seuil, montre brusquement des variations proportionnelles et concomitantes aux visites. On peut donc affirmer, qu'à partir de ce moment-là, la cavité ne se comporte plus comme auparavant et que ce sont les visiteurs qui en sont responsables. Bien qu'il ne soit pas possible d'établir une relation précise entre cet effet et des modifications éventuelles des peintures, il est évident que la grotte ne régule plus correctement les perturbations, puisqu'interviennent des phénomènes secondaires de compensation telle l'évaporation. En effet, l'excédent d'énergie apporté sous forme de chaleur par les visiteurs était jusque-là dissipé dans la masse rocheuse; lorsque ces apports deviennent trop importants, l'évaporation au niveau des parois a pour effet une absorption de la chaleur, ce qui provoque un refroidissement. C'est donc un nouveau phénomène de régulation qui intervient, dont on ignore les conséquences sur l'état des parois et, par conséquent, sur celui des peintures. Dans ces conditions, hors de l'ancien équilibre, une nouvelle dynamique de l'environnement souterrain se crée, dont on peut estimer qu'elle représente un risque certain pour la cavité. Il faut être conscient que les effets de cette nouvelle dynamique agissent à long terme, et qu'ils peuvent provoquer des altérations, peu visibles à court terme, mais irréversibles.

Toutes ces considérations conduisent à proposer un certain nombre de mesures.

1. En premier lieu, il convient de maintenir le fort pouvoir de régulation de la cavité, dont une partie est liée à l'environnement extérieur. Il est en effet évident que le couvert forestier règle les échanges thermiques entre le sous-sol et l'atmosphère extérieure et qu'il intervient dans l'infiltration et le flux de CO₂. Bien qu'il s'agisse de mécanismes complexes, aux effets peu prévisibles, il est certain que toute modification de ce couvert végétal, surtout si

elle est brutale, provoquera un changement du pouvoir régulateur de la grotte. Il est par conséquent indispensable de protéger efficacement ce couvert forestier.

2. Comme les enregistrements et leur analyse montrent que la déstabilisation de la cavité apparaît de la mi-juillet à la fin août, au moment où la fréquentation est la plus importante, il serait prudent de réduire cette fréquentation.

La procédure à utiliser dans ce but peut faire appel à deux démarches différentes, puisque la déstabilisation de la grotte est induite par une quantité globale d'énergie introduite chaque jour dans la cavité:

ou bien réduire le nombre de visiteurs par jour, en veillant à ce qu'il ne dépasse pas 630;

ou bien ramener la durée de la visite, qui, en moyenne est de 65 minutes, à 50 minutes, ce qui permettrait de conserver le seuil actuel de 700 visiteurs par jour.

Les deux procédures auront rigoureusement le même effet, puisque, en fin de journée, c'est la même quantité d'énergie qui aura été introduite.

En revanche, la manière suivant laquelle se fait cet apport d'énergie n'a guère d'importance en raison du caractère inertiel de la cavité. Par conséquent, le protocole actuel des visites (nombre de groupes, nombre de visiteurs par groupe, durée d'attente entre chaque visite) ne paraît pas devoir être remis en cause, dans la limite du seuil évoqué plus haut.

Au terme de cette étude, il est clair que l'approche proposée permet, sur la base des notions d'inertie, de régulation et de déstabilisation, de maîtriser de façon globale le comportement d'une cavité et de ses paramètres environnementaux face aux perturbations qu'apporte l'homme lors de la fréquentation de cette cavité. Elle autorise de ce fait une évaluation des risques encourus et conduit à prévoir les mesures conservatoires à prendre. Il n'en reste pas moins que subsiste une énorme inconnue; elle concerne tous les mécanismes qui sont les seuls à pouvoir vraiment rendre compte des transformations profondes et fondamentales responsables du phénomène de dégradation. Si l'on veut être efficace en matière de conservation, c'est, désormais, cette voie qu'il convient impérativement d'explorer, en relation avec la démarche globale d'élaborée.