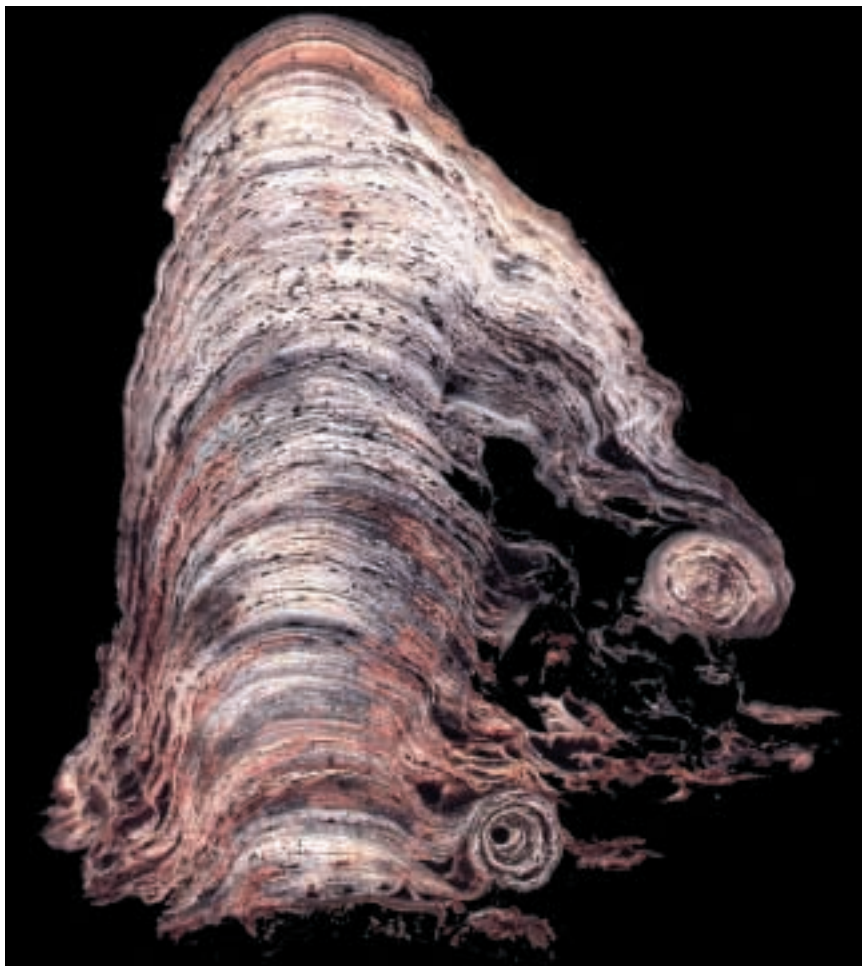




Clamouse - GEOTER

9. STALAGMITE (190 millimètres) incluant deux stalactites fossilisées. La structure interne révèle le développement rythmé, sur 1 500 ans environ, des lamines superposées claires et sombres. Le comptage des lamines permet de dater les chutes des stalactites.



Clamouse - GEOTER

10. STALACTITES DÉCAPITÉES avec deux niveaux de cassures successives, dans la petite salle de la grotte de Ribière (Rognes).

Dans la grotte du Père Noël, à Han-sur-Lesse, en Belgique, une colonne stalagmitique brisée, recimentée postérieurement à sa fracturation témoigne d'un séisme, ainsi que les nombreux spéléothèmes décapités sur lesquels repousse une concrétion plus petite dans la Grotta del Cervo, en Italie. Dans ce dernier cas, les géologues italiens P. Forti et D. Postpischl ont réalisé des datations au carbone 14 à la base de la nouvelle stalagmite. Les âges absolus obtenus correspondent au séisme dévastateur de décembre 1456, le plus fort recensé en Italie centrale.

Il arrive parfois qu'une stalagmite repousse sur la concrétion tombée à terre comme dans la Grotta del Frassinio, en Italie lombarde. De même, en Languedoc, sous des voûtes murées de l'aqueduc de Nîmes et à l'abri de toute intervention humaine, des fistuleuses et des stalactites sont tombées et ont été reconcrétionnées dans le plancher stalagmitique. Ces observations, associées aux preuves archéologiques

de destruction de l'édifice confortent l'hypothèse d'une origine sismique de ces chutes.

Les reprises de concrétionnement en terminaison de stalactites décapitées lors d'un séisme, cicatrisant les plans de cassures, correspondent à des anomalies aisément datables. Ces phénomènes, fréquents dans les cavités de la zone épacentrale du séisme de 1909, en Provence, ont été observés à Lambesc par P. Delange.

Quand un mouvement plus ou moins brutal des roches encaissantes déplace la stalagmite par rapport à la stalactite qui l'alimente, une nouvelle stalagmite se forme. Les exemples dans le réseau de Sieben Hengste, en Suisse et, en Italie, dans la Grotta del Cervo ou dans les grottes du Monte Campo del Fiori sont significatifs de mouvements sismiques qui ont modifié la morphologie des spéléothèmes. Une colonne statagmitique (stalactite et stalagmite soudées) peut également s'incliner ou se casser sous l'effet d'un mouvement tectonique.

Un séisme engendre parfois des variations de l'axe de croissance d'une stalagmite. L'exemple le plus spectaculaire se situe en Italie du Nord, dans la zone épacentrale du séisme de janvier 1117 qui a dévasté la région de Bologne. Les stalagmites analysées dans différentes cavités du secteur ont subi une brusque déviation de leur axe de croissance. L'âge de ce phénomène, daté par comptage de lamines, correspond exactement à la date du séisme.

Les colonnes joignant la voûte et le plancher d'une cavité peuvent se fracturer si leurs bords d'accroche sont soumis à des mouvements différentiels. Dans la grotte du Père Noël, Yves Quinif, de la Faculté polytechnique de Mons, en Belgique, a mis en évidence une compression à composante verticale sur des colonnes statagmitiques, qui se traduit par un écaillage de surface et des fractures verticales. Un décrochement peut aussi fracturer une croûte calcitique qui soude les parois d'un petit conduit.

Effets d'un séisme sur la morphologie des grottes

Le creusement du réseau de grottes s'effectue généralement selon des discontinuités sédimentaires (joints de stratification et hétérogénéités lithologiques) et des discontinuités tectoniques préexistantes (failles) par où s'écoulent les eaux.



11. REPRISE DU CONCRÉTIONNEMENT sur le plan de cassure d'une stalagmite de la grotte de Rialb. La grotte est située dans la zone épiscopale du séisme de 1428 en Catalogne. Les géologues tentent de dater l'âge de la cassure.

Les perturbations engendrées dans le karst par des événements sismiques affectent une structure à géométrie connue à un moment donné de l'évolution karstique. Le cas le plus favorable à ce type d'étude est une galerie fossile, horizontale, riches de dépôts divers, dont le concrétionnement est encore actif. Le rejeu brutal le long d'une faille recoupée par le réseau peut provoquer un décalage de la section de la galerie, comme dans la grotte de Tavel, en Languedoc.

En Lombardie, dans le réseau de Virginia Macchi, c'est un joint de stratification, remobilisé en faille inverse par un séisme postérieurement à la genèse de la conduite forcée, qui décale la galerie. Le rejet de la faille est visible dans le vide karstique, associé à un écaillage frais de la paroi. À Trieste, la «Grotta del guano» a enregistré des mouvements néotectoniques compressifs qui ont décalé la voûte de la galerie et les cupules de corrosion.

Le rejeu tectonique en décrochement à composante verticale peut décaler la discontinuité initialement empruntée par la karstification. Le rejet est alors

visible le long de la galerie. Ce type de mouvement a été signalé dans le massif karstique suisse de Sieben Hengste par P.-Y. Jeannin (Université de Neuchâtel) ou dans la grotte d'Arphilia, dans les Pyrénées-atlantiques (Pierre-Saint-Martin), où une faille recoupe postérieurement une galerie sèche sans respecter les orientations préalables des vides karstiques.

Les mouvements sismiques de failles et les ondes sismiques associées déplacent les masses au sein de la cavité. Dans la grotte du Père Noël, en Belgique, apparaissent des effondrements de blocs de la voûte, des chutes de colonnes stalagmitiques et de blocs en équilibre critique, des cônes d'éboulis frais non stabilisés et des écaillages sur les discontinuités tectoniques remobilisées.

La plupart de ces observations ont été réalisées dans des zones où se sont produits des séismes déjà connus et référencés dans les catalogues historiques. Les datations précises des anomalies ont validé la méthode. L'objectif des géologues est maintenant d'appliquer cette approche de la paléosismicité à des régions où aucun séisme historique n'est recensé.

Les concrétions des grottes sont un sujet d'analyse subtil : les découvertes de grottes, dont la fréquence est amplifiée par le développement de la spéléologie, amènent une matière nouvelle qu'il est passionnant – et utile d'étudier.

Paul DUBOIS est ingénieur géologue, ancien Directeur de l'Exploration à Elf-Aquitaine, membre associé du comité des applications de l'Académie des Sciences. Bertrand GRELLET est docteur en géologie, responsable du secteur Recherche et Développement de la Société GEOTER, à Montpellier. L'identification des paléoséismes à travers l'analyse des déformations en grottes est une des techniques développées au sein de cette société en collaboration avec le Bureau d'évaluation des risques sismiques pour la sûreté des installations nucléaires de l'IPSN et le Laboratoire des sciences géographiques et de l'aménagement de l'Université de Provence (J.-L. Guendon et P. Ambert).

L'essentiel des données et documents photographiques présentés dans cet article a été acquis à la grotte de Clamouse, près de Montpellier. Clamouse, qui présente une extraordinaire richesse et une diversité de concrétions de calcite et d'aragonite est actuellement la cavité souterraine de France la plus étudiée par carottage, datations et prélèvements automatiques d'eau de percolation. Sont associées à ces recherches des équipes de chercheurs français et étrangers, parmi lesquels Y. Quinif (Faculté polytechnique de Mons, Belgique), S. Frisia et A. Borsato (Musée Trentin de sciences naturelles, Trente, Italie), A. Bini (Département de sédimentologie, Fac. des sciences, Milan, Italie), F. Mc Dermott (Univ. de Dublin), P. Audra (Département de géographie, Univ. de Nice), J.-J. Delannoy (Département de géographie, Univ. de Grenoble).

A. BINI, Y. QUINIF, O. SULES et A. UGGERI, *Les mouvements tectoniques récents dans les grottes du Monte Campo dei Fiori (Lombardie, Italie)*, in *Karstologia*, n° 19, pp. 23-30, 1992.

P. DELANGE, *Étude de la néotectonique dans l'endokarst : exemple de la moyenne Durance*, DEA Univ. de Provence, 1995.

P. FORTI et D. POSTPISCHL, *Seismotectonics and Radiometric Dating of Karst Sediment*, in *Proceedings of the Workshop on Historical Seismicity of Central Eastern Mediterranean Region*, Enea Cre Casaccia, pp. 320-333, 1998.

D. GENTY, *Mise en évidence d'alternances saisonnières dans la structure interne des stalagmites*, in *C.R. Acad. Sci.*, tome 317, série II, pp. 1229-1239, 1993, Paris.

A. LEVRET, Ph. COMBES et Th. GRANIER, *Sismicité et archéologie : une approche pluridisciplinaire*, Actes du colloque Génie parasismique et aspects vibratoires dans le génie civil, AFPS, pp. 19-27, 1996.

Y. QUINIF, D. GENTY et R. MAIRE, *Les spéleoéthèmes : un outil performant pour les études paléoclimatiques*, in *Soc. Géol.*, tome 165, n° 6, pp. 603-612, 1994, France.

Les changements climatiques sur Mars

JEFFREY KARGEL • ROBERT STROM

Mars, planète aujourd'hui sèche et gelée, aurait autrefois été couverte de rivières, d'océans et de glaciers. A-t-elle abrité la vie ?



1. AUJOURD'HUI LA SURFACE DE MARS est sèche : la mosaïque d'images prises par des sondes spatiales en orbite (*ci-dessous*) révèle que la faible quantité d'eau contenue dans la mince atmosphère martienne se condense souvent en givre, particulièrement près du pôle Nord (*zone blanche*), où elle forme une calotte de glace permanente. La région polaire australe, où les températures sont inférieures, serait couverte en grande partie de dioxyde de carbone gelé. Un paysage martien typique (*à gauche*) ne présenterait donc aucune trace d'eau, sauf peut-être quelques plaques de givre ou des vallées creusées par des écoulements passés.

