

similaires aux gigantesques cristaux naturels. Les mesures ont continué pendant plus de trois ans. L'extrapolation du rythme de croissance donné par cette expérience a indiqué un âge de 250 000 ans pour les plus grands cristaux, en accord avec la datation radio-isotopique. Cette mesure est néanmoins à prendre avec prudence, car la croissance dépend de facteurs inconnus tels que les variations du débit de l'eau et la concentration initiale des solutés.

DÈS LE MOMENT OÙ L'ON ARRÊTERA LES POMPES, l'eau de l'aquifère remontera à son niveau d'origine, 160 mètres au-dessus de la Grotte aux cristaux.

Les grottes de Naica sont célèbres pour leurs cristaux géants, mais elles renferment d'autres cristaux de gypse beaucoup plus petits qui, bien que peu spectaculaires, revêtent un grand intérêt tant esthétique que scientifique. Parmi eux, citons les « voiles », formations délicates uniques au monde : de très fines fibres de gypse qui se sont développées en quelques jours par capillarité à partir du moment où l'eau chaude quittait les grottes, il y a moins de 20 ans. Ou encore les « crochets de gypse », des formes effilées et tordues, qui doivent leur évolution aux phénomènes de condensation rapide qui se sont manifestés lorsque l'eau a abandonné les grottes.

Mais ces grottes, même si elles sont tapissées de cristaux de gypse, abritent aussi une grande variété de minéraux. Oxydes, hydroxydes, sulfates, silicates de phosphates, chlorures... À l'heure actuelle, on en a découvert plus de 40 espèces. Certains de ces minéraux, pour l'essentiel des dépôts d'oxyhydroxydes de fer, manganèse, plomb et zinc, s'étaient déjà formés avant que les grands cristaux de gypse ne se forment, et ils ont continué à grandir même pendant leur croissance, engendrant de nombreuses inclusions solides à l'intérieur de ceux-ci.

Toutefois, les minéraux autres que le gypse se sont principalement développés après que l'eau a quitté les grottes sous l'effet du pompage. En effet, plus de la moitié des minéraux secondaires observés se sont formés au cours des 30 dernières années.

Même si à l'œil nu, les cristaux de gypse de Naica semblent purs et parfaits, au

microscope, on observe de nombreuses petites cavités, qui contiennent parfois des substances solides ou liquides. Ces inclusions, fréquentes dans les cristaux, sont très utiles, car elles apportent de nombreuses informations sur l'environnement au moment où les parties concernées des cristaux étaient en formation.

Dans les gypses de Naica, les inclusions liquides sont fréquentes et souvent de dimensions inhabituelles. Dans de nombreux cas, elles sont aussi biphasiques (eau et gaz cohabitent). Leur étude statistique a permis de définir la salinité et la température de l'eau au moment où se produisait le dépôt et donc de reconstituer la composition chimique des eaux thermales pendant toute la période de croissance des cristaux.

Des pollens assez bien conservés ont également été extraits des cristaux de Naica. C'est presque incroyable, car l'eau dans laquelle se sont formés les cristaux doit voyager sous terre sur plusieurs dizaines de kilomètres et plonger à plus de 1 000 mètres de profondeur avant de remonter et d'atteindre les grottes de Naica. Jusqu'à présent, 60 échantillons de pollens ont été prélevés et identifiés. La présence de diverses espèces a permis de déterminer le climat de Naica il y a des dizaines de milliers d'années, alors que l'homme n'était pas encore arrivé dans ces régions du Mexique. Le climat n'était alors pas désertique comme aujourd'hui, mais beaucoup plus humide et frais, semblable au climat actuel de San Francisco, 1 500 kilomètres plus au Nord.

Une série plus vaste de grottes

Par ailleurs, de nombreuses inclusions solides dans les cristaux de gypse sont manifestement des structures biologiques fossilisées, à l'intérieur desquelles ne restait toutefois aucune trace de matériaux organiques.

Les travaux miniers qui ont conduit à la découverte de cet incroyable trésor géologique ont modifié les conditions dans les grottes, les rendant presque visitables, mais bien différentes de l'environnement naturel initial. L'étude de l'évolution de la température et de l'humidité des grottes est donc intéressante pour analyser leur transition vers un nouvel état, et éventuellement limiter les dégâts dus à des changements trop brusques tout en rendant les



3. LA COMBINAISON DE SURVIE TOLOMEA.

Dans les conditions qui règnent dans les grottes de Naica, le corps ne peut pas se réguler thermiquement, ce qui peut entraîner la mort en une dizaine de minutes. La combinaison tolomea a été mise au point pour permettre des séjours de plus d'une heure. Elle se compose d'une couche externe, isolante, et d'une couche centrale qui contient de la glace. En fondant, celle-ci absorbe la chaleur du corps et de l'environnement. Un respirateur qui déshumidifie et refroidit l'air empêche la condensation de la vapeur dans les poumons. L'air frais excédentaire est envoyé directement sur les yeux.

grottes plus accessibles aux visiteurs et aux recherches.

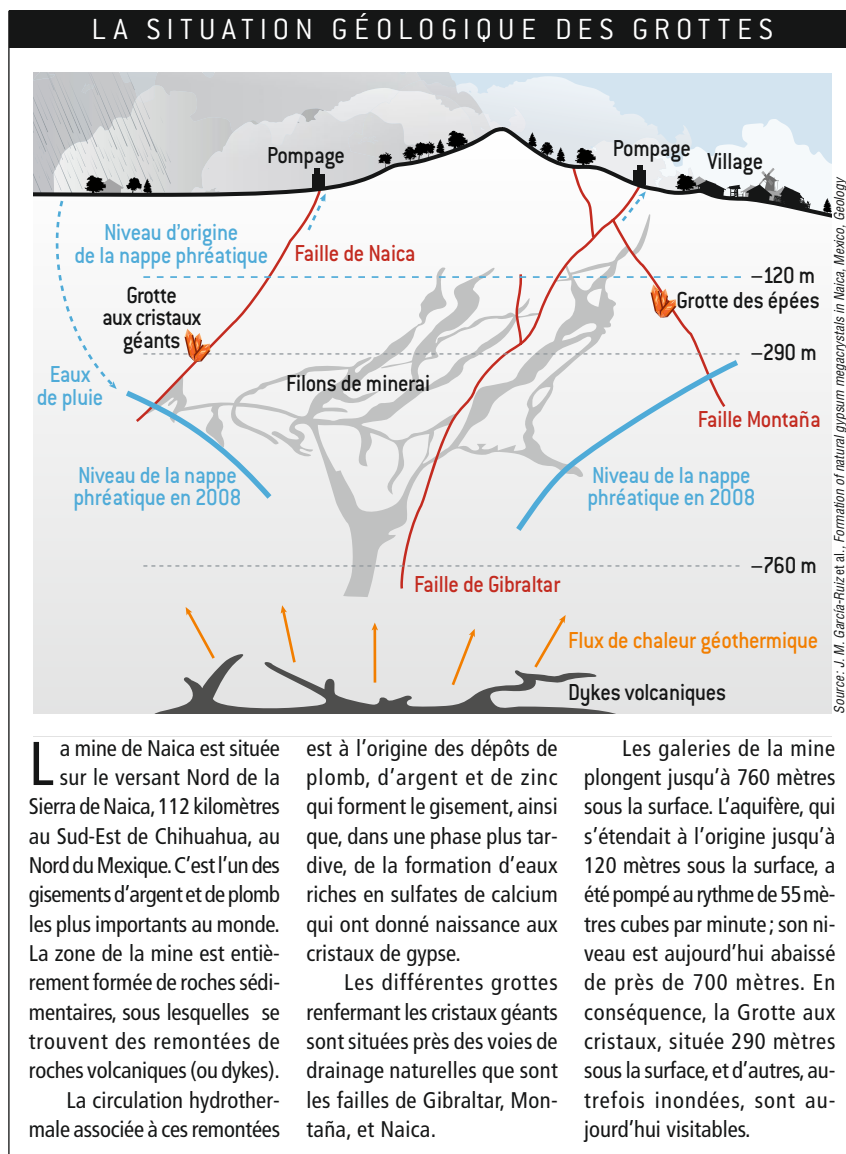
Nous avons ainsi découvert que la Grotte aux cristaux se refroidit de 0,52 degré par an en raison du contact avec la mine *via* le couloir d'accès et, à travers la roche, avec des galeries passant non loin à l'Ouest. Un très faible courant d'air qui traverse la grotte montre qu'il existe une communication avec des zones plus basses de la mine. L'étude des réactions de la grotte à de brusques variations thermiques et de l'évolution des fluctuations de température et d'humidité en fonction de la profondeur a révélé un résultat fascinant : la Grotte aux cristaux serait seulement un petit élément visible d'une série plus vaste qui s'étend au-dessus, comprenant notamment la grotte de l'Œil de la reine (*Ojo de la Reina*). L'un des objectifs des recherches futures sera d'explorer ces cavités.

Quel avenir ?

Pour diverses raisons, les grottes de Naica ne pourront pas rester intactes très longtemps. Avant toute chose, elles sont sous la menace constante de déprédations. La valeur commerciale des grands cristaux est telle que les mineurs tentent d'en extraire pour les vendre sur le marché international des minéraux. La compagnie propriétaire de la mine fait de son mieux pour empêcher les pillages, mais ils ne peuvent être totalement évités.

Le refroidissement constant et assez rapide des grottes constitue une menace encore plus grande. La chute progressive de la température externe des cristaux, qui a commencé il y a un peu moins de 30 ans, a depuis peu déclenché un phénomène de condensation de la vapeur d'eau, avec de graves conséquences. L'eau qui se condense redissout partiellement les cristaux en surface, mais y forme aussi des concrétions de calcite, qui leur font perdre leur brillance et leur transparence.

Mais la grotte est avant tout condamnée par la fin des activités minières, qui surviendra sans doute d'ici quelques années, lorsque l'extraction de l'argent ne sera plus assez rentable. Dès le moment où l'on arrêtera les pompes, l'eau de l'aquifère remontera en quelques semaines jusqu'à son niveau d'origine, 160 mètres au-dessus de la Grotte aux cristaux (située à 290 mètres de profondeur). La grotte retrouvera alors les conditions environnementales qui ont présidé à la formation des cristaux, mais



La mine de Naica est située sur le versant Nord de la Sierra de Naica, 112 kilomètres au Sud-Est de Chihuahua, au Nord du Mexique. C'est l'un des gisements d'argent et de plomb les plus importants au monde. La zone de la mine est entièrement formée de roches sédimentaires, sous lesquelles se trouvent des remontées de roches volcaniques (ou dykes).

La circulation hydrothermale associée à ces remontées

est à l'origine des dépôts de plomb, d'argent et de zinc qui forment le gisement, ainsi que, dans une phase plus tardive, de la formation d'eaux riches en sulfates de calcium qui ont donné naissance aux cristaux de gypse.

Les différentes grottes renfermant les cristaux géants sont situées près des voies de drainage naturelles que sont les failles de Gibraltar, Montaña, et Naica.

Les galeries de la mine plongent jusqu'à 760 mètres sous la surface. L'aquifère, qui s'étendait à l'origine jusqu'à 120 mètres sous la surface, a été pompé au rythme de 55 mètres cubes par minute ; son niveau est aujourd'hui abaissé de près de 700 mètres. En conséquence, la Grotte aux cristaux, située 290 mètres sous la surface, et d'autres, autrefois inondées, sont aujourd'hui visitables.

la brève fenêtre temporelle qui s'était ouverte sur ces merveilles géologiques se refermera à jamais. Pour cette raison, les participants du Projet Naica tentent de mener à bien toutes les études scientifiques et les relevés d'un lieu qui disparaîtra tôt ou tard.

Nous aimerions cependant faire en sorte que ces merveilles naturelles restent visibles pour les générations futures même après que les eaux thermales seront remontées. Il s'agirait de déplacer la grotte, un peu comme le temple égyptien d'Abou-Simbel a été littéralement déplacé pour être sauvé de la remontée des eaux provoquée par le barrage d'Assouan. Du point de vue technique, le projet est réalisable, mais il nécessite une volonté politique. C'est là l'unique moyen de continuer à montrer les grottes de Naica et leurs incroyables « forêts de cristaux géants ».

✓ BIBLIOGRAPHIE

P. Forti, *Genesis and evolution of the caves in the Naica mine [Chihuahua, Mexico]*, *Zeitschrift für Geomorphologie*, vol. 54, suppl. 2, p. 115-135, mai 2010.

P. Forti et L. Sanna, *The Naica project : a multidisciplinary study of the largest gypsum crystal of the world*, *Episodes*, vol. 33, n° 1, pp. 1-10, 2010.

J. M. García-Ruiz, R. Villasuso, C. Ayora, A. Canals et F. Otálora, *Formation of natural gypsum megacrystals in Naica, Mexico*, *Geology*, vol. 35 pp. 327-330, 2007. doi : 10.1130/G23393A.1.