



2. LES « VOILES » DE LA GROTTA AUX VOILES (à droite) sont de très fines fibres de gypse qui se sont développées par capillarité. D'autres espèces minérales se sont récemment formées dans les grottes depuis que l'eau s'est retirée il y a une trentaine d'années (ci-dessus, à 150 mètres de profondeur).



arriver à un tel résultat, la cristallisation a dû se dérouler de façon lente, mais continue, à partir d'une eau pas trop saturée en gypse. Une température et une composition chimique stables pendant des milliers d'années ont donc été nécessaires. Des variations de l'une ou l'autre auraient en effet conduit à la multiplication des départs de croissance des cristaux (ou nucléation), et donc à des cristaux plus nombreux et plus petits.

La stabilité thermique a été assurée par le grand aquifère thermal, dénué de point de déversement vers l'extérieur. Ainsi, la température des eaux qui baignaient les grottes est restée quasi constante : les mesures isotopiques ont indiqué qu'en plus de 250 000 ans, la température a varié entre 58 et 54 °C. Ce n'est qu'en 1980, lorsque le niveau de la nappe phréatique a baissé à cause du pompage au point d'assécher les grottes, que la température s'est mise à baisser.

Or ces températures sont juste sous le point d'équilibre, à 59 °C, où la solubilité du gypse est égale à celle de l'anhydrite. En d'autres termes, aux températures régnant dans les grottes de Naica, l'anhydrite dissous dans l'eau le reste, tandis que le gypse précipite. Mais étant donné la très petite différence de solubilité, la

Un cristal record

✓ **Presque tous les cristaux de la Grotte aux cristaux (162) ont été mesurés. Leur orientation dominante pointe vers le centre de la salle, à l'instar des géodes classiques, et leur longueur caractéristique se situe entre quatre et six mètres, ce qui est aussi la hauteur moyenne de la cavité. L'épaisseur est liée à la durée du dépôt, et sa distribution présente donc elle aussi une certaine uniformité : la plupart des cristaux sont épais de 30 à 60 centimètres, et quelques-uns seulement dépassent le mètre.**

Le plus grand cristal (sans doute le plus grand cristal libre au monde) s'est formé presque à l'horizontale dans le Nord-Est de la grotte. Il mesure 11,40 mètres, avec une section de base de 80 centimètres sur 90 et une section terminale de 30 centimètres sur 35. Son volume est d'environ cinq mètres cubes. Nous l'avons nommé « Cristal Cin ».

saturation de l'eau en gypse est très faible, de sorte que peu de cristaux se forment. La cristallisation se concentrant sur un petit nombre de sites de nucléations, ils sont devenus gigantesques.

Pour estimer avec précision la durée nécessaire pour que les cristaux atteignent leurs dimensions actuelles, deux méthodes distinctes ont été utilisées. La première s'appuie sur le rapport entre les isotopes d'uranium et de thorium (U/Th), une méthode bien éprouvée. Les experts ont daté des échantillons recueillis à diverses profondeurs dans les cristaux, et ont estimé entre 200 000 et 300 000 ans l'âge des plus grands cristaux. Par la suite, nous avons affiné cette datation en mesurant la vitesse actuelle de dépôt du gypse par les eaux thermales qui circulent encore quelque 300 mètres plus bas. Pour ce faire, nous avons reproduit les conditions dans lesquelles les cristaux se sont développés. Des tablettes de gypse destinées à favoriser la croissance cristalline ont été déposées dans un instrument placé sous une sortie d'eau thermale à 590 mètres de fond, dans un environnement saturé en humidité et à une température supérieure à 51 °C.

Au bout de six mois, des petits cristaux de gypse s'étaient déjà développés,

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.