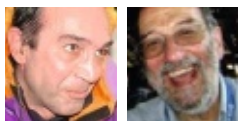


LES AUTEURS



Giovanni BADINO est professeur de physique à l'Université de Turin, en Italie.

Paolo FORTI est professeur de spéléologie à l'Université de Bologne.

1. LES CRISTAUX DE GYPSE

de la Grotte aux cristaux. Ils sont moins nombreux sur le plafond de la grotte que sur le sol. Cette répartition serait due à une stratification de la concentration en sulfate de calcium des eaux qui inondaient la grotte, la probabilité que la croissance d'un cristal soit initiée augmentant alors avec la profondeur.

Le Projet Naica rassemble des spécialistes de plusieurs disciplines. Les scientifiques qui en font partie sont issus d'une vingtaine d'Universités et organismes de recherche de par le monde. La coordination scientifique a été confiée au Département des sciences de la Terre et de l'environnement de l'Université de Bologne, en Italie. L'objectif du Projet était triple. Tout d'abord, explorer les cavités naturelles rencontrées par les galeries de la mine : entre 2006 et 2010, ce travail a été mené à bien, avec entre autres l'exécution d'un relevé précis de la Grotte aux cristaux et des cristaux eux-mêmes. Un autre aspect du Projet était la documentation de ces environnements incroyables : cet objectif a été atteint en 2010, avec la réalisation d'un documentaire scientifique et d'un film d'exploration, et des milliers de clichés haute résolution. L'étude scientifique de ces grottes est pour sa part toujours en cours.

Quand et comment se sont développés les cristaux de gypse géants ? Combien de temps a demandé leur croissance ?

Que vont-ils devenir ? Telles sont les principales questions auxquelles nous allons tenter de répondre.

Des conditions extrêmement stables

Les cristaux géants sont formés de gypse, c'est-à-dire du sulfate dihydraté de calcium ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$). D'où provient-il ? Durant des milliers d'années, l'acide sulfurique formé par l'oxydation de sulfures sous-jacents a réagi avec les roches sédimentaires (carbonate de calcium) pour former des eaux riches en sulfate de calcium (CaSO_4). Ce dernier précipite en général sous forme d'anhydrite. De fait, cette roche est massivement présente sur le site de Naica en dessous de 240 mètres de profondeur. Sous certaines conditions, les eaux riches en sulfate de calcium peuvent aussi précipiter sous forme de cristaux de gypse.

La présence de cristaux de gypse dans les grottes de Naica n'est ainsi pas étonnante. En revanche, leur gigantisme, mais aussi leur petit nombre, l'est plus. Pour





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,