

grottes plus accessibles aux visiteurs et aux recherches.

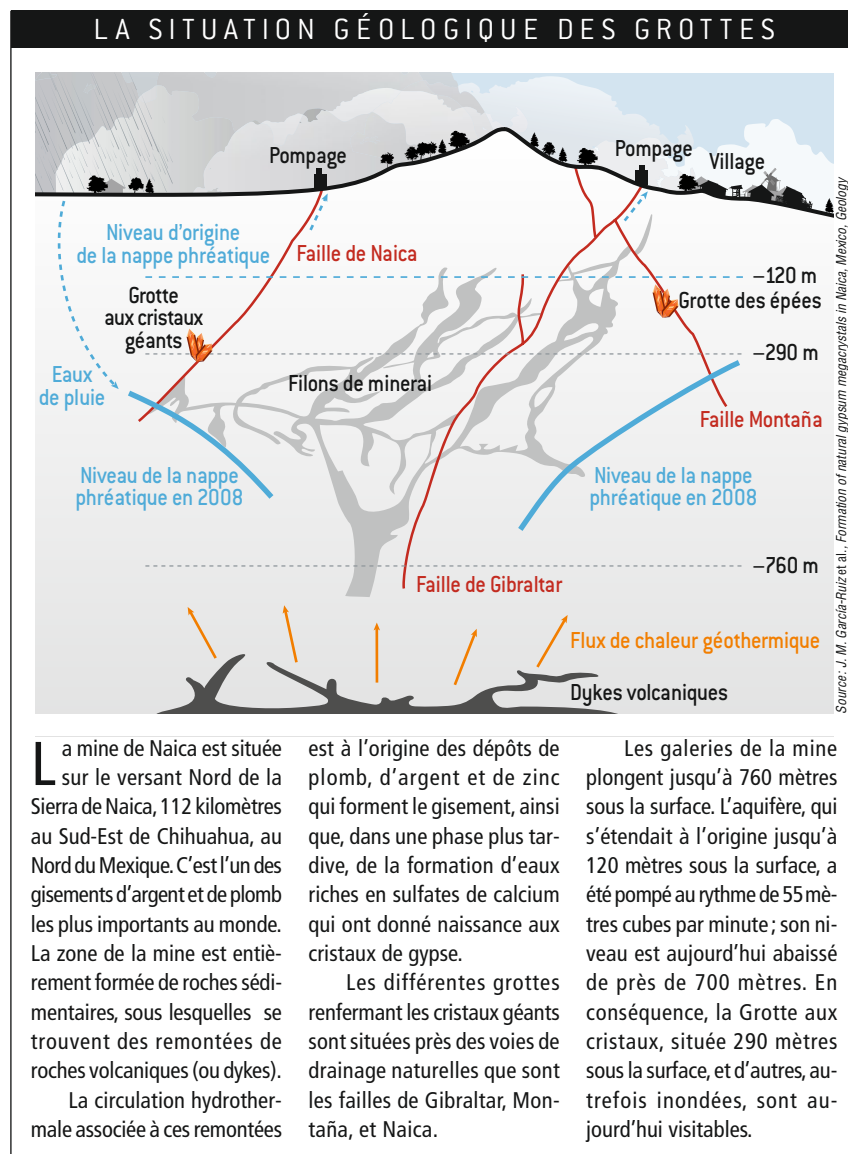
Nous avons ainsi découvert que la Grotte aux cristaux se refroidit de 0,52 degré par an en raison du contact avec la mine *via* le couloir d'accès et, à travers la roche, avec des galeries passant non loin à l'Ouest. Un très faible courant d'air qui traverse la grotte montre qu'il existe une communication 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.

Entre terre et mer : des zones à préserver

Les zones humides du littoral, sols gorgés d'eau, sont parmi les plus riches écosystèmes de la planète. Leur protection est devenue un enjeu majeur pour le maintien de la biodiversité.

Fernand Verger

L'ESSENTIEL

- ✓ Les zones humides existent sous de multiples formes : estuaires, deltas, plaines alluviales, marais, étangs, tourbières, barrières de corail...
- ✓ Convoitées pour leur fertilité, elles sont drainées, asséchées et cultivées depuis des siècles.
- ✓ Leur disparition s'est accélérée au XX^e siècle avec l'urbanisation, l'industrialisation et l'agriculture intensive.
- ✓ Depuis 40 ans, on tente de les protéger tant pour la richesse de ces écosystèmes que pour leur valeur économique et sociale.

En 2010, la tempête Xynthia a envahi des zones humides du littoral vendéen. Des lotissements et un camping avaient été construits sur ces zones, que l'on avait tenté de soustraire aux marées au moyen de digues. Cette tempête aux conséquences tragiques a mis sur le devant de la scène la question de la gestion raisonnée des zones humides. Rien qu'en France, ce patrimoine naturel couvre plus de trois millions d'hectares, dont près de la moitié sur le littoral. Aujourd'hui, alors que leur disparition s'accélère, on mesure leur rôle dans l'équilibre écologique de la

planète. Pourquoi ces zones disparaissent-elles ? Quelles sont les conséquences de leur disparition sur les écosystèmes ? Quelles solutions sont mises en place ou envisagées pour les protéger ? Telles sont les questions que nous examinerons ici. Mais auparavant, précisons ce qu'est une zone humide.

C'est un domaine où l'eau est présente soit en profondeur dans les sols, soit en surface, et ce de façon permanente ou saisonnière. Une succession de définitions légales en ont été données à partir des années 1970, lorsqu'il s'est agi de les protéger, notamment aux États-Unis et en France. Parmi les



multiples critères retenus pour les définir, on trouve des indications hydrologiques (niveaux des eaux de surface ou de la nappe phréatique), le caractère hydromorphe des sols (la marque physique d'une présence régulière de l'eau) et la composition de la flore. Les roseaux, les typhas, les laïches ou les iris des marais sont des espèces hygrophiles (qui ont besoin d'humidité pour vivre) caractéristiques des zones humides en milieu d'eau douce; dans les milieux salés ou saumâtres, d'autres espèces telles les spartines, obiones ou salicornes, halophiles celles-là – c'est-à-dire se développant dans un milieu salé –, sont caractéristiques des zones humides tempérées (voir la figure 2); les palétuviers poussent dans les zones humides situées entre les tropiques.

Il existe des zones humides à l'intérieur des terres, là où le drainage est médiocre, par exemple dans les fonds de vallée tourbeux ou sur le bord des lacs. Mais c'est sur les littoraux maritimes qu'elles sont les plus nombreuses, dans des situations très diverses allant des fonds marins peu profonds aux marais en arrière des dunes, en passant par les plaines alluviales façonnées au fil des siècles par les marées sur les rives ou à l'embouchure des fleuves.

Par convention, les fonds marins de moins de six mètres de profondeur au-dessous des plus basses mers sont considérés comme des zones humides. Les fonds coralliens entrent en grande partie dans cette catégorie. La Grande Barrière de Corail, qui s'étend en avant de la côte australienne sur

une longueur de 2300 kilomètres, constitue ainsi une zone humide littorale d'une prodigieuse biodiversité. Les recensements y ont dénombré plus de 300 espèces de coraux, plus de 800 espèces d'échinodermes, plus de 1500 espèces de poissons et plus de 150 espèces d'oiseaux.

Plaines alluviales, estuaires, marais...

Les étendues alluviales, tour à tour immergées et découvertes au gré des marées, abritent aussi une flore et une faune abondantes et variées. La mer des Wadden, qui s'étend en arrière des îles Frisones, de la Hollande jusqu'au Jutland, au Danemark, offre près de 10000 kilomètres carrés de vasières et de bancs de sable de ce type. Par le balancement des marées, ces surfaces nourrissent une riche faune de mollusques et de crustacés. Les rives sont colonisées par une végétation qui supporte la submersion par les eaux salées (spartines, salicornes...). L'abondance de nourriture (mollusques, crustacés) fait des vasières de la mer des Wadden l'une des plus importantes zones de transit des oiseaux migrateurs: ce domaine peut accueillir simultanément jusqu'à six millions d'oiseaux.

Par les estuaires soumis au flot et au jusant, des rubans de zones humides littorales pénètrent profondément dans les terres. Leurs rives et leurs îles offrent des parties découvertes aux marées basses. L'estuaire du Saint-Laurent, au Canada, est ainsi

composé, auprès d'un lit mineur, de marais riverains, de vasières découvrantes et d'îles soumises au gel hivernal. La biodiversité varie en fonction de la salinité, laquelle s'accroît vers l'aval, de même que le nombre de poissons. L'estuaire du Saint-Laurent est en particulier remarquable par l'abondance des cétacés et des phoques, dont on y dénombre 16 espèces.

Les deltas construits par les fleuves étalent leurs plaines alluviales marécageuses entre des bourrelets de berge et des cordons littoraux. Le delta commun du Gange et du Brahmapoutre, qui s'étend sur 105000 kilomètres carrés, est le plus grand delta du monde. Les palétuviers de la mangrove y occupent de grandes superficies et bordent le rivage de deux ceintures. La plus proche de la mer est le plus souvent constituée de palétuviers rouges (*Rhizophora*) pouvant atteindre 30 mètres de hauteur. Elle est en général doublée d'une seconde ceinture de palétuviers blancs (*Avicennia*) moins élevés. Vers l'intérieur, la mangrove est parfois bordée de surfaces herbeuses sursalées qu'on nomme des tannes. Les bras fluviaux mouvants érodent et façonnent les îlots du delta – ou chars –, qui sont souvent cultivés.

Enfin, l'action de la mer tend à créer des cordons littoraux de sable ou de galets

1. MANGROVE DU QUINTANA ROO, un État du Sud du Mexique.

