

■ Italie centrale:

Bains de vapeur chez Vulcain

Ce sont les modestes grottes de la vallée de la Durance qui nous ont entraînés sur les routes de l'Italie. En effet, la visite des grottes de la Clue de Mirabeau, et surtout la morphologie singulière de la grotte de l'Adaouste dans les Bouches-du-Rhône nous avaient mis la puce à l'oreille. Cette cavité des bords de la Durance ne répondait pas au schéma classique dans lequel nous voulions la faire entrer. Un indice, puis deux et enfin un faisceau d'indices cohérents nous ont bientôt convaincus du caractère artésien de la cavité. Plus tard, dans la montagne Sainte Victoire, la grotte des Champignons nous a montré que les phénomènes karstiques liés à l'artésianisme¹, et probablement à l'hydrothermalisme², pouvaient avoir une ampleur insoupçonnée. Les exemples français de cavités hypogènes³ ne pouvant satisfaire notre curiosité, c'est tout naturellement que nous nous sommes tournés vers nos collègues italiens afin de compléter notre culture encore très lacunaire. Le dépaysement dans les cavités des Marches et de Toscane a été tel que nous avons éprouvé le besoin de le partager au travers d'un récit circonstancié.

PAR PHILIPPE AUDRA & JEAN-YVES BIGOT

L'ambiance soufrée des grottes de Frasassi

Nous sommes le 14 juin 2002 à quelques dizaines de kilomètres d'Ancone dans les gorges de Frasassi où nous avons rendez-vous avec Sandro Galdenzi pour visiter la grotta grande del Vento, cavité touristique dont la réputation n'est plus à faire. Spécialiste des grottes sulfureuses de l'Italie Centrale, Sandro nous a proposé d'en découvrir la partie touristique particulier. À la sortie du tunnel d'accès (entrée artificielle), un paysage à couper le souffle s'offre à nos yeux : nous sommes écrasés par un énorme vide sou-

terrain d'un million de m³. Au pied d'une immense salle d'environ 100 mètres de hauteur dans laquelle débouche l'abîsso Ancona (entrée naturelle de la grotte), notre regard se perd dans le vide, puis fixe les parois zébrées de la roche et enfin les énormes concrétions qui s'élancent vers les voûtes (fig. 2).

En avançant un peu, nous passons entre de grosses stalagmites en pile d'assiettes d'une surprenante blancheur. Au passage, Sandro nous confie qu'il a été déçu par les stalagmites poussiéreuses de l'aven Armand. Au loin, nous distinguons du gypse néoformé⁴ encore accroché aux parois, ainsi que des dépôts massifs accumulés sur le sol de la grotte.

Sandro franchit une rambarde de protection et nous amène au pied d'une coupe naturelle de 6 m de haut dans un dépôt de gypse dont la blancheur évoque celle d'un glacier (fig. 3). Ici, l'importance des dépôts est à la mesure des salles et, toutes proportions gardées, nous avons l'illusion de déambuler dans une sorte de « Lechuguilla européen » car les dépôts massifs de gypse sont tout à fait comparables à ceux de la célèbre grotte du Nouveau-Mexique. Bien sûr, le concrétionnement n'atteint pas la profusion des grottes américaines, mais ici ça sent le soufre et le phénomène est encore actif, contrairement à la grotte de Lechuguilla qui est une cavité fossile.

Toutefois, la genèse de toutes ces cavités est très similaire puisque c'est au point de rencontre des eaux sulfureuses remontant des profondeurs et d'eaux météoriques issues de la surface et riches en oxygène, que se sont formés les vides souterrains. On trouve donc les plus grands volumes dans la zone dégagée de la couverture imperméable de marnes et de grès qui encauchonnait les calcaires (fig. 4). Ainsi, les eaux mé-

téoriques ont pu s'infiltrer et se mélanger aux eaux sulfureuses (formation d'acide sulfurique) pour corroder activement le calcaire et le remplacer par du gypse (cf. J.-F. Pernet et R. Maire in *Spelunca* n° 86, 2002).

Plus nous avançons à l'intérieur du massif dans les parties non dégagées de la couverture sédimentaire, plus les dimensions de la cavité s'amenuisent. Nous terminons la visite dans une partie plus basse, mais plus humaine aussi, dans laquelle des coupes coalescentes délimitent un plafond globalement horizontal qui matérialise un ancien niveau. L'orientation n'y est pas facile, car les piliers rocheux qui soutiennent le « ciel » de la grotte évoquent davantage le paysage d'une carrière souterraine que celui d'une grotte classique. Si vous n'avez pas les moyens d'un voyage Outre-Atlantique, vous pouvez néanmoins, pour un prix modique, vous offrir l'exotisme et le dépaysement d'une grotte sulfurée, par ailleurs considérée comme une des plus grandes et des plus belles d'Europe.

Les dessous de l'affaire : la grotta del Fiume

L'après-midi, la visite de la grotta del Fiume nous a permis de mieux comprendre les phénomènes à l'origine de la formation de la grotta grande del Vento située quelques mètres au-dessus. Ce que le touriste ne voit pas mais que Sandro Galdenzi nous a montré, correspond aux « dessous de l'affaire ». Par un étroit conduit descendant couvert de gypse, nous prenons pied au fond du Ramo Sulfureo, une partie sulfureuse où vivent des colonies de *Niphargus* (fig. 5) nourries aux dépens de la chaîne trophique développée à partir de bactéries sulfo-oxydantes. Ces bactéries sécrètent des ions sulfates qui réagissent avec le calcaire ; s'il est évident qu'elles produisent de la matière organique par chimiosynthèse, elles jouent aussi un rôle de premier plan dans la spéléogénèse.

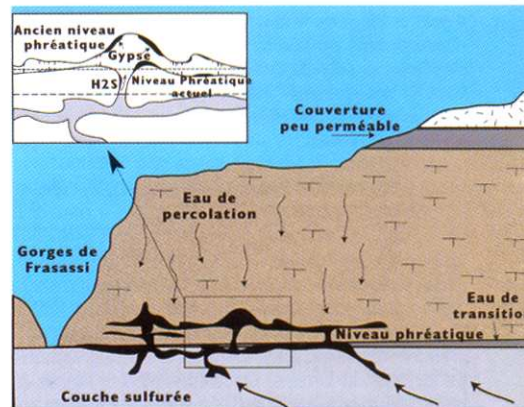


Fig. 4 : coupe schématique des grottes des gorges de Frasassi, d'après Sandro Galdenzi, 2001

La rivière grouille de *Niphargus* qui disparaissent parfois sous les filaments bactériens opaques. Sur les parois, des fils pendent au bout des concrétions : « C'est de la mucolite (concrétion en forme de muqueuse, ou plus trivialement de morve) » dit Sandro, puis il sort un papier sensible et mesure le pH d'une gouttelette qui perle au bout d'une concrétion filaire (fig. 6). Le papier vert tourne immédiatement au rouge, le pH est d'environ 1, autant dire que c'est de l'acide sulfurique (H₂SO₄). Du coup, je n'ose plus mettre les doigts sur les parois. Sandro nous invite à goûter les substances qui condensent sur les parois. Plus hardi, Philippe met son doigt sous une goutte, la porte à sa langue, puis, après une petite moue, déclare que ça a un goût de citron.

Sandro nous conduit ensuite dans sa « station-laboratoire » située non loin de la rivière. Différentes plaquettes de calcaire sont encore suspendues à des fils et exposées à la corrosion de l'air ambiant (Fig n° 7). Ces plaquettes sont extrêmement corrodées par les vapeurs acides et sont en partie couvertes par des cristaux de gypse. Au retour, nous prenons quelques photos du gypse (Fig n° 8) et des remarquables vermiculures - vermiculations argileuses - qui ornent les parois de la grotte (Fig. n° 9).



Fig. 1 - Carte de situation des cavités visitées : 1 : grottes de Frasassi ; 2 : grottes d'Acquasanta Terme ; 3 : grotta Giusti.

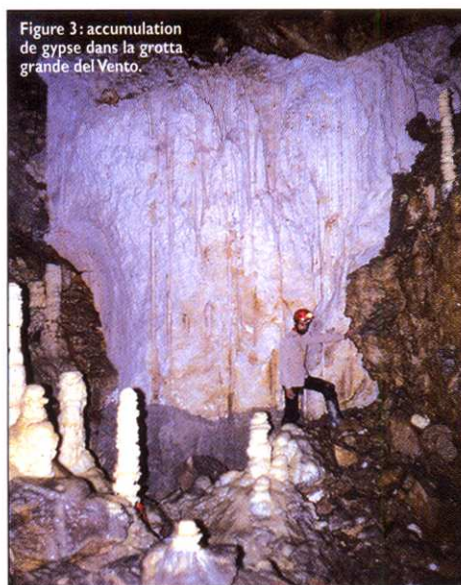


Figure 3 : accumulation de gypse dans la grotta grande del Vento.

Fig. 5: Colonie de Niphargus vivant dans les eaux sulfureuses du ramo Sulfureo de la grotta del Fiume.



Figure 6: Mucolite. La goutte d'eau qui perle au bout de la concrétion filaire à un pH proche de 1, autant dire de l'acide sulfurique! Grotta del Fiume.

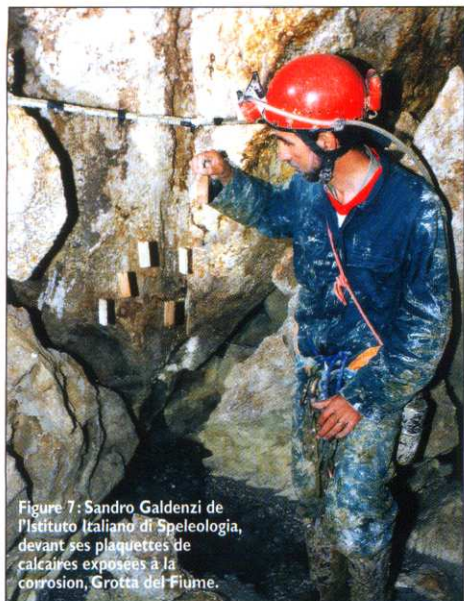


Figure 7: Sandro Galdenzi de l'Istituto Italiano di Speleologia, devant ses plaquettes de calcaires exposées à la corrosion, Grotta del Fiume.

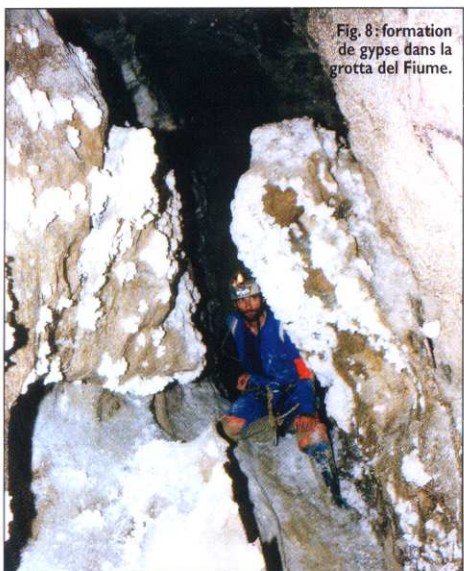


Fig. 8: formation de gypse dans la grotta del Fiume.



Fig. 9: vermiculures sur les parois de la grotta del Fiume.

Bain d'enfer à Acquasanta

Partis très tôt de Frasassi, nous arrivons vers 10 heures à Acquasanta Terme, petite ville des Marches située à une centaine de kilomètres au sud d'Ancone. Nous n'avons pas le temps de mettre pied à terre que nous sommes aussitôt pris en charge par nos guides, Giorgio et Mauro, deux jeunes spéléologues italiens que Sandro a prévenus de notre arrivée, et surtout de notre emploi du temps très serré. Par une chaleur caniculaire, nous remontons à pied un sentier qui longe d'abord un ravin, puis une gorge profonde que nous descendons jusqu'au torrent, le rio Garrafo, où s'ouvre l'entrée de la grotta Nuova. Bien que la cavité soit située à proximité immédiate du rio, sa formation n'a rien à voir avec celle d'une grotte classique. Comme à Frasassi, la rivière est venue inciser le calcaire postérieurement à la formation des grottes dont le creusement est lié aux eaux sulfureuses.

Nos guides équiperont un P8 dans lequel nous reconnaissons un conduit ascendant qui n'a effectivement rien à voir avec la perte d'un torrent, et ce malgré la présence trompeuse de quelques galets roulés qui traînent au sol. Sur la droite, un étroit boyau débouche dans la partie sulfureuse de la grotte. Nous prenons pied sur un balcon qui domine le pozzo Barbara, un puits d'une vingtaine de mètres de profondeur; du gypse en tapisse les parois et déjà la chaleur est perceptible. Nous sommes en fait au milieu d'un puits-cheminée dont le fond se termine par la « sala del Guano ». La curiosité nous y mène, mais la chaleur et surtout l'odeur d'ammoniaque qui flotte dans l'air prennent à la gorge; les chauves-souris groupées en essaim n'apprécient guère notre incursion, et vice-versa. Nous ne nous attardons pas.

Odeur d'ammoniaque

Giorgio équipe une courte escalade de 5 m qui nous mène sur un pont de gypse coincé entre les parois d'un nouveau puits. Cette accumulation de gypse est typique des « grottes sulfureuses » (les *sulphidic caves* des Anglo-Saxons). Encore un puits de 10 m et nous approchons du but de notre visite...

Au bas du P10, une certaine incompréhension s'installe: Giorgio et Mauro sont toujours chaussés de bottes, mais sont en slip avec juste un casque sur la tête. D'un signe de la tête, Giorgio me montre en contrebas le panache de vapeur qui s'échappe d'un trou en forme de chaudron. A l'évidence, l'ambiance est chaude ici! Sans poser de questions, j'imites mes collègues italiens qui expliquent à Philippe que l'usage de l'acétylène est fortement déconseillé en raison de la présence du soufre. Nous allons de surprise en surprise, à ce moment précis de la visite, nous ne savons plus s'il s'agit d'une sortie spéléologique ou d'un épisode de « Voyage au centre de la Terre ».

Giorgio jette une corde dans le « chaudron » s'en saisit et disparaît dans le nuage de vapeur, Philippe suit. En tenue de Tarzan, je dégringole un glacis que je distingue à peine à cause de mes lunettes envahies par la buée. Bien qu'il ne s'agisse pas d'une plongée en siphon, la brusque différence de température au niveau du « chaudron » donne la sensation d'une immersion en siphon gazeux. L'excès de chaleur qui dépasse d'embée les 30 °C à quelque chose d'angoissant.

Saisi par la température, l'organisme doit s'acclimater. N'étant pas un adepte des saunas ou des hammams, je constate que l'inhalation d'air chaud, même à plein poumons, ne permet pas vraiment de refroidir le corps, la transpiration non plus. Une fois au fond (-67 m), Mauro trempe la main dans un filet d'eau qui court sur le sol, elle est brûlante. Au détour d'une galerie, j'aperçois des parois jaunâtres: en m'approchant je distingue nettement des cristaux de soufre: c'est vraiment l'enfer ici.

Poursuivant la visite, je passe dans une cloche d'air brûlant, un point haut dans lequel s'est concentrée toute la chaleur. A cet endroit, inutile de s'éterniser, à moins de vouloir cuire à l'étouffée...

J'arrive ensuite devant une sorte de siphon, en fait un petit lac: le « lago sulfureo ». Giorgio commence à descendre, il remplit une botte, puis l'autre... J'ai un moment de répulsion, car mon inconscient donne aux eaux de ce lac un pouvoir corrosif proche de l'acide sulfurique. Malgré mes appréhensions, les jambes de Giorgio n'ont pas fondu dans les eaux laiteuses du lac! (fig. 10, page suivante). Encore une fraction de seconde pour comprendre qu'il n'y a aucun danger à lui emboîter le pas. L'eau est à 40 °C et la profondeur de 1,20 m seulement.

Accroupis dans l'eau, trois têtes dépassent, sous l'œil vigilant de Mauro resté sur la berge. Bizarrement, il fait moins chaud au niveau de la surface du lac que dans les parties hautes des galeries.

Dans le « fond » nous prenons les eaux à Acquasanta Terme et ce bain souterrain est la preuve que des activités en apparence aussi éloignées que la spéléologie et le thermalisme sont finalement conciliables! Même si l'endroit ressemble à un petit coin de paradis « infernal » nous ne sommes pas malades et nous devons nous arracher au bain sulfuré pour regagner la surface, car nous sommes attendus ce soir en Toscane à la grotta Giusti.

Un lagon souterrain en Toscane...

Nous garons la voiture dans le parc de l'Hôtel « Grotta Giusti » splendide établissement quatre étoiles sis à Montesummano Terme, petite bourgade toscane bordant l'autoroute entre Pise et Florence. Les allées nous mènent à l'accueil, immense office marbré et décoré de bois précieux où trône une hôtesse top classe. Alors que je m'approche pour m'enquérir de la présence de Luciano, notre moniteur-plongeur, une rombière anglo-saxonne, très Miss Marple me détaille des pieds à la tête et de la tête aux pieds, avec un regard en disant long sur l'inconvenance de ma tenue en ces lieux. Quelques minutes de patience nous permettent de suivre le ballet des taxis embarquant les montagnés de sacs Louis-Vuitton et d'autres du même bois qui accompagnent nos Lords and Ladies, jusqu'à l'arrivée de Luciano. Grand, svelte, l'allure d'Aldo Mascione, il nous conduit vers les salles destinées au conditionnement des clients plongeurs. C'est là qu'on leur explique la configuration des siphons, que dans la grotte il fait noir, que les parois sont étroites mais pas trop, et qu'en cas de problème on ne peut pas remonter à la surface à cause du plafond rocheux qui risque de faire des bosses au crâne, heureusement protégé par un casque adéquat!

KARSTO BAINS DE VAPEUR

GIANLUIGI FLUPIONI

Fig. 10: Bain dans les eaux laiteuses du Lago Sulfureo, grotta Nuova.

Après une bonne heure de martèlement de ces consignes rassurantes, nous suivons des couloirs sans fin, prenons des ascenseurs, pour enfin ouvrir une porte qui donne sur la grotte. La mise en condition est instantanée: 28 °C saturés d'humidité. Nous nous mettons aussitôt en tenue de bain, sans interrompre pour autant le ruissellement de la transpiration. Jean-Yves essuie sans cesse ses lunettes qui se couvrent aussitôt de buée. J'enfile le bloc de plongée et nous nous dirigeons vers le fond de la grotte. Le spectacle est surprenant: la roche est indiscernable, recouverte d'énormes mamelons de concrétions, semblables à un fantôme fellinien (fig. 11). Au milieu de la galerie se dressent de gigantesques pénitents phalliques, sortes de stalagmites lisses à l'extrémité s'amenuisant en cône, élaborés par l'accumulation de radeaux de calcite flottante. Des « folia » sortes de gours inversés, couvrent les parois surplombantes.

À l'approche du bassin, la température est accablante: 34 °C, mais le spectacle de l'onde émeraude transparente, illuminée par les projecteurs, nous captive. J'enjambe la balustrade, descends l'échelle et m'immerge enfin. Le poids du matériel disparaît, l'eau est à une température idéale. Muni d'équipement de plongée réglementaire en un tel lieu (maillot de bain, sandales et casque équipé de deux torches) je règle mon équilibrage et descends sous la surface, encadré de mes deux moniteurs, l'un ouvrant la route, l'autre contrôlant ma progression.

La cavité se présente selon une faille longue de 100 m environ, inclinée, dont la partie supérieure est émergée, la partie inférieure étant constituée de bassins reliés par des siphons en fissures. Vers le fond, la faille se rétrécit vers -15, et seuls quelques passages exigus ont permis aux plongeurs d'atteindre 30 m de profondeur. Le trajet est balisé par une corde, et je n'ai qu'à suivre mon guide. La visibilité n'est limitée que par les parois, l'eau étant d'une transparence parfaite. En effet, dans cette cavité thermale alimentée par des remontées d'eaux profondes au débit très modéré, la charge en particules argileuses est inexistante. Seules les radeaux de calcite flottante couvrent les parois, tels de petits flocons. Lorsqu'on les effleure, leur taille et leur densité les fait aussitôt sombrer tels les courants de turbidité sous-marins, si bien que même ces particules ne restent pas en suspension.

Divine comédie de Dante

Je me promène, émergeant dans des lacs de belles dimensions, plongeant par une fissure pour rejoindre le suivant. Mes guides énumèrent les noms des lieux, inspirés de la Divine comédie de Dante. Je prends une nouvelle inspiration et pars vers le conduit suivant qui m'amène dans une petite cloche d'air. Luciano avoue que cet endroit n'est pas baptisé et m'offre la possibilité de le marquer de mon sceau. Essayant de rester dans la veine dantesque mais peu inspiré, je lui suggère le nom de « salle des Pénitents ».

Quoique très complexe dans le détail, du fait du labyrinthe de fissures, la partie noyée présente des paysages assez constants. Hormis les changements de largeur déjà évoqués, la roche-mère est quasiment invisible, couverte de calcite, sauf dans quelques affleure-

ments en profondeur, où l'enduit tend à disparaître. Lorsque l'on frappe sur ces enduits, des bulles sortent du concrétionnement poreux. C'est du gaz carbonique, qui provient de la décompression du fluide thermal remontant des profondeurs et qui est responsable de la corrosion et de l'élargissement de la faille à proximité de l'atmosphère de la grotte. Mais l'eau stagnante agressive se sature et dépose de la calcite dans toute la zone située à l'interface air-eau, jusqu'à la profondeur

d'environ 15 m. Les parois sont couvertes de sortes de petites stalactites de quelques centimètres de longueur, avec une pointe aigüe orientée vers le bas (Fig n° 12). Cette forme de concrétionnement n'est pas encore expliquée dans le détail, mais on distingue clairement que des phénomènes de dissolution se produisent le long du corps alors que la pointe s'allonge par accréation de calcite, le tout dans un milieu extrêmement calme, où les mouvements d'eau sont essentielle-

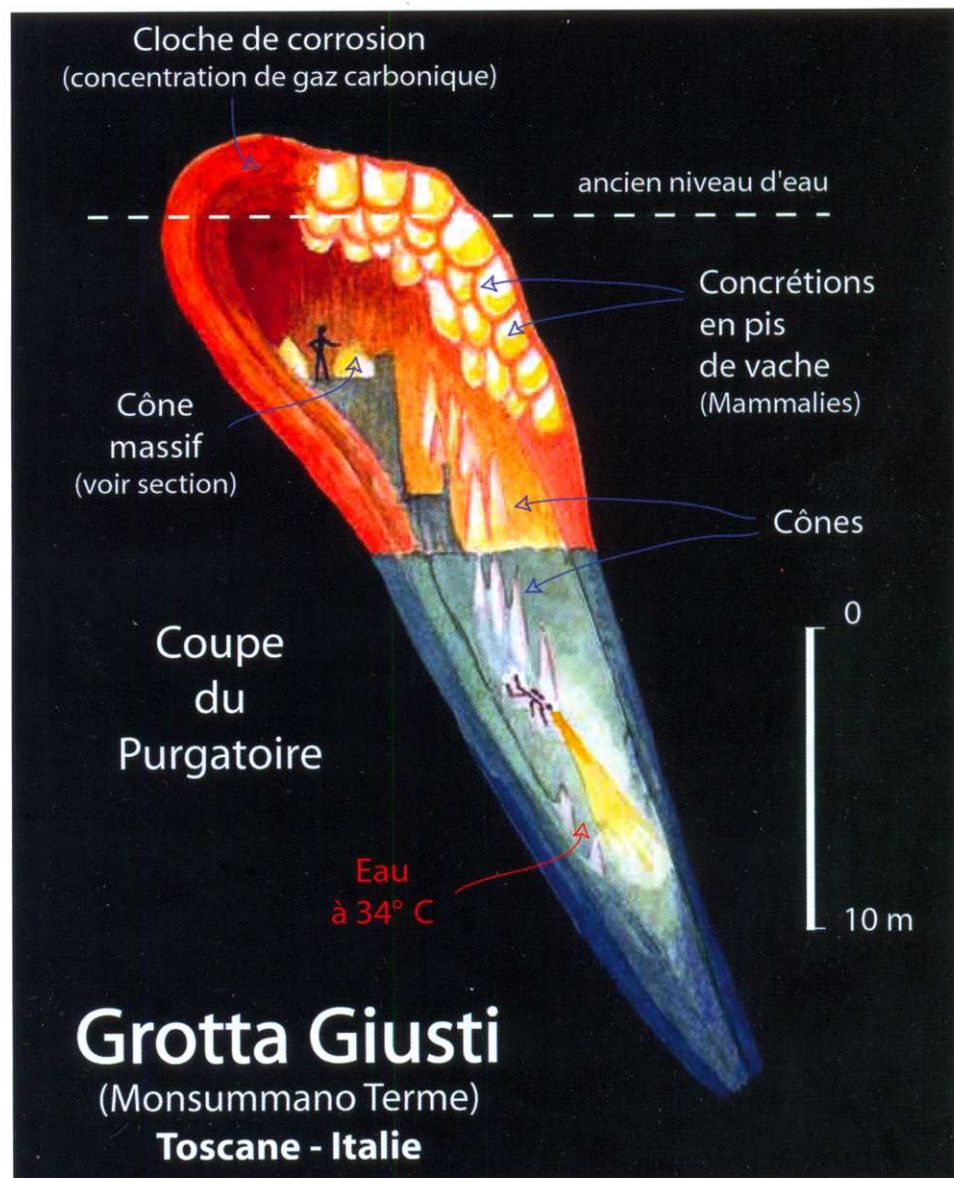
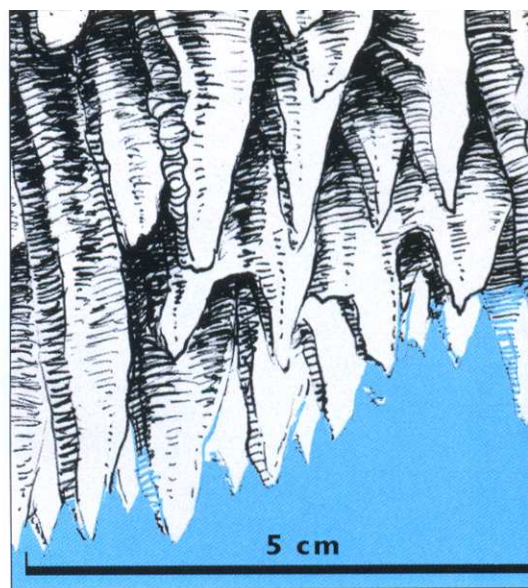


Fig. 11: coupe schématique de la grotta Giusti. Cette grotte thermale sert de sauna aux curistes d'un hôtel. La cavité est divisée en trois zones appelées Paradiso, Purgatorio et Inferno où la température de l'air atteint 34 °C. Différents types de concrétionnement s'étagent dans la grotte, on trouve en haut des formes en pis de vache (mammalies) et en bas des cônes formés en milieu aquatique. Dessin Jean-Yves Bigot

Fig. 12: Picots de calcite formés sous l'eau, un phénomène qui tient à la fois de l'accrétion et de la dissolution, grotta Giusti, Toscane. Dessin Jean-Yves Bigot

ment dus à des convections lentes de fluides de température et de charge différente. L'eau profonde chaude et sous-saturée remonte. Arrivée en surface, le refroidissement au contact de l'air et la saturation accroissent sa densité, lui permettant de sombrer lentement, ce qui alimente une convection permanente.

D'énormes mamelons

Au-dessus de la surface, les énormes mamelons sont parfois aplanis à leur base, montrant clairement d'anciens niveaux d'eau, plus élevés qu'aujourd'hui. La condensation de l'air tiède au contact des parois plus fraîches provoque des suintements qui ruissellent le long des surplombs et gouttent à l'extrémité des saillants. Ces gouttes tombant à la surface des lacs recouverts de calcite flottante font sombrer les radeaux de calcite immuablement au même endroit (fig. 13). Leur accumulation et leur cimentation édifient lentement les pénitents, concrétions subaquatiques particulières, qui peuvent atteindre plus de 5 m de hauteur. Certains sont actifs et encore immergés, d'autres sont désormais à l'air libre suite à l'abaissement du niveau de la nappe d'eau.

Après une heure d'immersion, je regagne la terrasse surplombant le lac et retrouve Jean-Yves, qui a passé ce temps à observer les parties exondées de la cavité. Me laissant à peine le temps de décapeler, il bondit comme une puce et m'entraîne constater le fruit de ses observations: des concrétions évoquant de petits dômes stalagmitiques très classiques (fig. 14) qui sont en fait des pénitents de forme plus trapue, rappelant étrangement des édifices observés quelques jours auparavant dans une grotte totalement fossile de la montagne Sainte-Victoire.

Le matériel rangé, la nuit tombée, il ne nous reste plus qu'à gagner le faite du Montesummano, où nous trouvons un splendide bivouac panoramique dominant la vallée illuminée de l'Arno, dans une oliveraie environnée de vieilles demeures toscanes, avec leurs cyprès pointant vers le ciel étoilé.

Lexique:

1: Artésianisme: phénomène lié à des remontées d'eau d'origine profonde provenant d'un aquifère plus ou moins captif. Les karsts artésiens des gypses ou des calcaires s'opposent à celles des karsts dits gravitaires, plus classiques. Le terme artésien ne fait référence qu'à l'origine profonde des eaux, et non aux caractéristiques particulières, comme la température, implicite dans le mot thermalisme.

2: Hydrothermalisme: phénomène lié aux eaux thermales, c'est-à-dire celles qui possèdent des caractéristiques physiques (sources chaudes) ou chimiques (minéralité) particulières. Pour le karstologue, l'hydrothermalisme est un sous-type de l'artésianisme.

3: Hypogène: du grec hypo, au-dessous, et géno, naissance, origine. Ce terme se réfère à des sources d'agressivité produites en profondeur (CO_2 ou H_2S), liées à un mode de circulation confiné ou remontant, indépendant d'une recharge superficielle directe. Il correspond approximativement au concept d'artésianisme.

4: Gypse néoformé: minéral résiduel formé à partir de l'altération des parois calcaires par l'acide sulfurique.

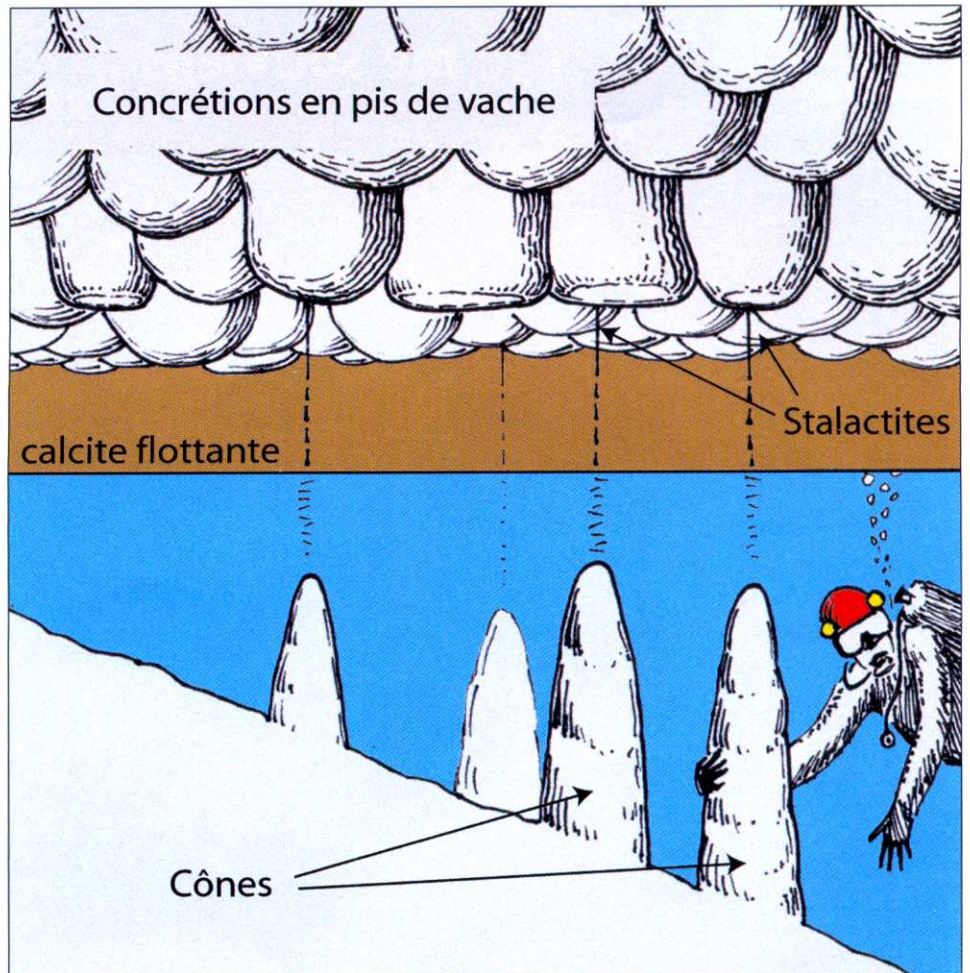


Fig. 13: Schéma illustrant la formation des cônes de la grotta Giusti, par accumulation de calcite flottante à l'aplomb d'une stalactite. Les concrétions en pis de vache à base aplatie indiquent un ancien niveau d'eau. Dessin Jean-Yves Bigot

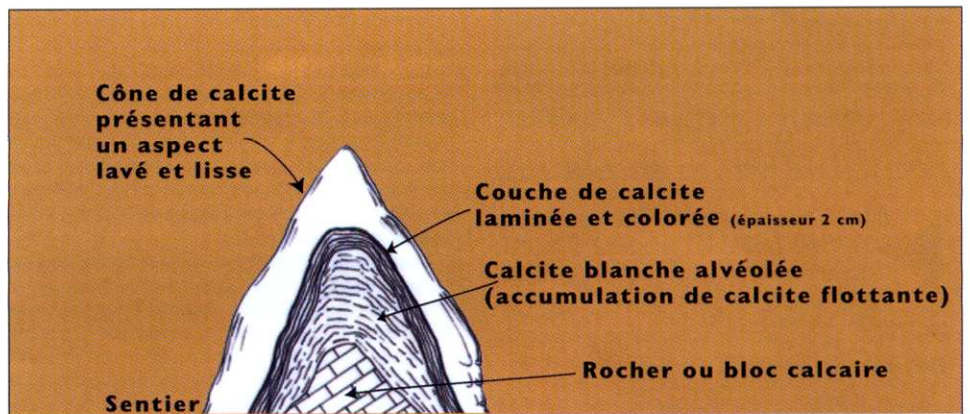


Fig. 14: Section d'un cône du Purgatoire recoupé par le sentier, grotta Giusti. Dessin juin 2002 Jean-Yves Bigot

Orientation bibliographique:

FORTI P. & UTILI F. (1984) - Le concrezioni della Grotta Giusti. Speleo, 12, pp. 17-25.

GALDENZI S., MENICCHETTI M., SARBU S. M. & ROSSI A. (1999) - Frasassi caves: a biogenic hypogean karst system? Karst 99, Colloque européen. 10 au 10 septembre 1999. Et. géog. phys. Travaux 1999 - Suppl. n° XXVIII. CAGEP, Univ. de Provence, pp. 101-106.

GALDENZI S. (2001) - L'azione morfogenetica delle acque sulfuree nelle grotte di Frasassi, Acquasanta Terme (Appennino Marchigiano - Italia) e di Movile (Dobrogea - Romania). Le Grotte d'Italia, s. V, 2, pp. 49-61.

HILL C. & FORTI P. (1997) - Cave minerals of the world. National Speleological Society, 464 p., Huntsville.

HOBLEA F. (1996) - Spéologie sulfureuse: Aix-les-Bains-de-Soufre. Spéleo n° 24, pp. 24-25 - Ed. Spéleo

PICCINI L. (2000) - Il carsismo di origine idrotermale del Colle di Montesummano (Pistoia - Toscana). Le Grotte d'Italia, n° 1, pp. 33-43. Società Speleologica Italiana.

Voir aussi:

<http://www.cens.it/06a26frassassipianta.htm>
http://www.alitours.com/italy_spa_grottagiusti.htm
<http://web.tiscali.it/asacub/asacub.htm>

Remerciements:

Nos remerciements s'adressent d'abord à Sandro Galdenzi de l'Istituto Italiano di Speleologia de Genga qui nous a fait découvrir les grottes de Frasassi.

Nous remercions également nos guides Giorgio et Mauro qui nous ont conduits dans la grotta Nuova d'Acquasanta Terme, le photographe Giampaolo Filippini responsable de l'Association spéléologique d'Acquasanta, et aussi Paolo et Luciano Lutanini qui nous ont ouvert les portes de la grotta Giusti.