

RIVIERA 2007

SCIENTIFIQUE



ISSN 0395 - 0395

ASSOCIATION DES NATURALISTES DE NICE ET DES ALPES-MARITIMES

SIÈGE SOCIAL : Muséum d'Histoire Naturelle - 60 bis, bd Risso - 06300 NICE

BIBLIOTHÈQUE : 12, avenue de la République - 06300 NICE

LA SPÉLÉOGÉNÈSE PAR CORROSION SULFURIQUE, L'EXEMPLE DE LA GROTTÉ DU CHAT (Daluis, Alpes-Maritimes)

Jean-Claude d'ANTONI-NOBECOURT⁽¹⁾

Philippe AUDRA⁽²⁾

Jean-Yves BIGOT⁽³⁾

⁽¹⁾ Comité Départemental de Spéléologie 06

⁽²⁾ Université de Nice Sophia Antipolis – UMR 6012 « Espace »

⁽³⁾ Association Française de Karstologie

Le Nord-Ouest des Alpes-Maritimes, adossé sur l'échine cristalline de l'Argentera-Mercantour, n'est guère prisé des spéléologues : la couverture calcaire y est chiche, et souvent de mauvaise qualité aux yeux du spéléophile. Pour autant, dans cette zone négligée par les prospecteurs, la karstification n'est pas absente, et le contexte géologique assez marginal par rapport aux grands massifs karstiques classiques y implique même des caractéristiques spéléogénétiques très originales.

Ainsi, la grotte du Chat, modeste caverne dont les particularismes n'ont été mis en évidence que très récemment, se révèle être objet géologique remarquable qui compte peu d'équivalents au plan national.

HISTORIQUE

La grotte du Chat est connue depuis la nuit des temps par les populations locales, mais l'origine de son nom est obscure et fait l'objet d'explications plus ou moins assurées, certaines sources prétendant qu'autrefois l'entrée aurait eu la forme d'une tête de chat... Il nous semble que la véritable origine serait à rechercher dans une appellation dialectale issue du provençal « traoucat » (troué), qui aurait muté en « daou cat », « du chat ».

C'est à la fin du XIX^{ème} siècle que Jules Gavet, un des premiers spéléologues français, explore la grotte, la décrit et en dresse le premier plan, qui, complété en 1948 par la section de Nice du Club Alpin Français, constituera longtemps l'unique topographie de ce réseau peu étendu mais complexe ; c'est probablement à l'occasion de la mise à jour de 1948 qu'une des galeries principales de la grotte est baptisée « Victor de Cessole », en l'honneur du naturaliste et alpiniste niçois décédé en 1941, président du C.A.F. de Nice entre 1900 et 1932.

Une seconde topographie est publiée en 1967 par Yves Créac'h dans son inventaire des cavités des Alpes Maritimes ; puis une troisième, beaucoup plus précise, est levée par le Centre Méditerranéen de Spéléologie et publiée dans un topoguide de loisirs sportifs (« L'aventure verticale dans les Alpes d'azur », Oddou, Soumier et Soumier 1992) ; il faut dire qu'à la faveur du développement des moyens de communication, cette cavité facile et accessible était devenue une des classiques de la spéléologie d'initiation dans

À main droite se développe un labyrinthe de conduits réticulés de calibres variés, « le dédale », qui a vu plus d'un visiteur tourner « un certain temps » avant de retrouver son chemin. Avec de l'habitude, de la chance ou de l'obsession, on débouche dans la galerie Victor de Cessole, couloir d'une centaine de mètres, de taille humaine et presque rectiligne, qui se termine sur un pincement du conduit.

Dans les plafonds des deux dernières dizaines de mètres, des ouvertures verticales facilement escadées permettent d'accéder à une salle, de laquelle une autre étroite entre blocs permet de redescendre dans un second réseau grossièrement parallèle à la galerie de Cessole.

Ce réseau, assez joliment conçu, revient vers le Sud et boucle au Nord de la salle principale. Avant la jonction, au sol et à main droite, une boîte aux lettres donne dans un diverticule chaotique sans continuation qui revient également vers le Sud.

Si on additionne tous les petits segments de boyaux de cette grotte labyrinthique, on totalise près d'un kilomètre de développement, mais en réalité on ne se trouve jamais à plus de 200 mètres de l'entrée...

La grotte du Chat (coordonnées Lambert III 956,537 / 3201,859 / 940) est pointée sur les cartes I.G.N. top 25. On y accède par une route qui, du village de Daluis, se dirige vers le hameau de Saint-Martin. Après quelques kilomètres, une première puis une seconde bifurcation dont les fléchages indiquent en clair « grotte du Chat » se proposent : il est préférable de garer son véhicule dès que le chemin vicinal tourne franchement à la piste, car elle devient rapidement impraticable aux voitures ordinaires. C'est donc à pied que l'on remontera en corniche la vallée d'un torrent, « le Riou » ou « Rioul », et que l'on rejoindra en quelques minutes une barre de calcaire bien visible dans le paysage (Fig. 1) et dans laquelle, deux mètres en contre-haut du sentier, l'entrée de la grotte est évidente malgré sa petite taille.

Une fois la grille franchie, on pénètre dans une salle d'entrée, spacieuse et relativement chaotique, s'achevant sur un ressaut de deux mètres. Le ressaut dégringole dans un tronçon de galerie au sol plan, qui débouche dans un vaste volume assez complexe, comparativement par d'amples ondulations de la voûte, baptisé « salle des Santons » en référence à trois stalagmites alignées rappelant avec beaucoup d'imagination la procession des trois mages.

DESCRIPTION

Il y a une vingtaine d'années, a priori en raison de dégradations liées à sa sur-fréquentation incontrôlée, l'accès en fut interdit, par une grille cadenassée d'une part, et par un arrêté d'autre part. La municipalité accueille cependant avec bienveillance les demandes d'accès motivées par des objectifs scientifiques.

Aujourd'hui, sans doute par la magie de l'inaccessibilité, quelques sites Internet de randonnée en moyenne montagne ou à caractère touristique font mention de la grotte du Chat en termes dithyrambiques, évoquant « une des plus belles rivières souterraines de la région », « des beautés à couper le souffle » et autres superlatifs. Précisons qu'il n'y a pas l'ombre d'une rivière dans la grotte du Chat et que ces qualificatifs sont très exagérés...

CONTEXTE GEOLOGIQUE

Le village de Daluis se situe en marge du dôme de Barrot, vaste bombement de pélices rouges dans lesquelles le Var et ses affluents se sont taillés de spectaculaires canyons qui ont valu jadis à cette région l'appellation de « Colorado niçois ».

Sur ces pélices permienues continentales, la grande transgression secondaire a déposé une série sédimentaire marine débutant par les quartzites du Werfénien, puis des argiles et des évaporites du Keuper, surmontés de tous les termes échelonnés du Trias au Crétacé supérieur ; cette série stratigraphique a été fort bouleversée par le charriage de la couverture lors de l'orogénèse alpine, de quoi il résulte un paysage plutôt tourmenté où marnes, argiles, gypse et calcaires se mêlent de façon assez désordonnée.

Le village de Daluis lui-même est bâti sur un diapir de gypse (tG sur la carte géologique), déposé au Trias dans des lagunes marines sursaturées ; dans ce contexte d'évaporation intense, du sel s'est naturellement déposé avec le gypse, ce que révèle la toponymie sur la commune de Daluis même, au lieu-dit « la Salette ».

La grotte du Chat, relativement éloignée du village, se développe dans un lambeau de calcaire barrémien de pendage subvertical (n4 sur la carte), encadré de marnes et de marno-calcaires (sur la carte, n1-3 est le Néocomien marneux et n6-c1 le Cénomanién inférieur).

Ce lambeau de calcaire barrémien constitue l'extrémité Sud d'un affleurement que l'on peut suivre pratiquement jusqu'au col de la Cayolle, et qui est dilacéré par une faille appartenant à un faisceau satellite de l'arc de Castellane ; sur le terrain, la faille est bien visible à droite du porche, et au droit de la grotte en rive droite du Riou.

UN MODE DE FORMATION ORIGINAL

La situation de grotte du Chat semble a priori bien s'intégrer au modèle de l'émergence karstique devenue fossile par suite de l'enfoncement du niveau de base, aussi la formation de la cavité n'a-t-elle guère interpellé les spéléologues dans le passé ; il faudra attendre 1993 pour que Bruno Ducluzaux, associant explicitement la formation de la grotte à la source sulfureuse (pourtant connue depuis longtemps) qui coule dans le lit du Riou 90 mètres en contrebas de la grotte, propose un mode de creusement lié à l'hydrothermalisme et à la chimie des sulfates. Dès lors, un examen plus attentif des caractéristiques de la grotte, en particulier ses singularités peu compatibles avec une karstification conventionnelle, s'imposait : ce fut l'objet de nos travaux en 2005 et d'un stage « Equipier scientifique » de la Fédération Française de Spéléologie en 2006. Avant d'examiner la grotte du Chat sous cet angle, un état succinct de la question hypogène est proposé ci-après.

Historique de la problématique hypogène

Dans les années 1970 - 1980, des chercheurs américains qui travaillaient, l'un dans la grotte de Lower Kane, Wyoming (Egemeier), les autres dans le système de Carlsbad Cavern, Nouveau Mexique (Hill, Palmer...), ont été étonnés par les quantités considérables de gypse que recèlent ces cavités : ce minéral étant fortement soluble, un creusement karstique conventionnel provoqué par les infiltrations d'eaux venues de la surface n'aurait dû laisser que peu de gypse dans la cavité.

Peu à peu, ils ont été amenés à conclure que ces cavités s'étaient creusées en raison de

remontées de fluides profonds, liquides, gazeux ou mixtes, chargés de composés sulfureux : suite à des processus complexes impliquant des bactéries, la transformation des composés sulfatés ou sulfurés en acide sulfurique avait provoqué une intense corrosion des carbonates, et leur conversion en sulfates.

La corrosion sulfurique par des remontées de fluides profonds, qualifiée d'« hypogène » par opposition à la corrosion « épigène » causée par des percolations d'eaux directement issues de la surface, a tout d'abord été accueillie dans la communauté scientifique avec scepticisme, puis a été admise comme un phénomène marginal ; mais un peu partout dans le monde, un nombre croissant de cavités ont été identifiées comme relevant de ce processus : tout d'abord la douzaine de grottes hydrothermales actives connues en tant que telles souvent depuis l'antiquité (grotte des Serpents à Aix-les-Bains, système de Frasassi en Italie, grottes de Buda en Hongrie), puis d'autres, inactives mais identifiées comme hypogènes (grottes de Rhar Kab Shrir, massif des Bibans, Algérie) ; certaines cavités sulfuriques récemment découvertes de façon fortuite se sont même ajoutées à la liste (grotte de Moviile, Roumanie, en 1986).

Aujourd'hui, la part du creusement hypogène dans les vides souterrains en domaine calcaire apparaît de plus en plus significative : à la lumière de ces avancées, un nouveau regard s'est imposé, en particulier sur la question de la karstification primitive et sur les cavités reconnues par forage en zone noyée ou profonde.

Le processus de karstification hypogène

La plupart des aquifères auxquels on accède physiquement (spéléologie) ou techniquement (forages) sont relativement superficiels ; mais l'eau est également présente dans les couches géologiques profondes, à plusieurs centaines voire plusieurs milliers de mètres sous la surface. Là, elle est soumise à des pressions et des températures importantes : le gradient géothermique général est en effet de $3^{\circ}\text{C} / 100\text{ m}$ (c'est-à-dire que la température s'élève de un degré lorsqu'on descend de 33 mètres dans la croûte terrestre). Dans ces conditions physiques particulières, l'eau dissout massivement dans les roches lessivées à grande profondeur des minéraux et des gaz, notamment du gaz carbonique et de l'hydrogène sulfuré qui sont de loin les gaz les plus solubles (l'eau peut en contenir plusieurs grammes par litre) et qui sont très présents dans la croûte terrestre ; des minéraux solubles comme les chlorures et les sulfates sont dissous, ainsi que, si le calcaire est présent dans l'encastement, de grandes quantités de carbonate de calcium ; enfin, dans ce contexte anoxique, des ions ferreux et du manganèse sont mobilisés.

Si ces aquifères sont confinés, et si leur zone de recharge est en situation géograprique surincombrante, les eaux peuvent resurgir en surface dans des zones moins élevées (artésianisme) à la faveur d'une opportunité structurale (généralement une faille). Lorsqu'elles remontent en surface, ces eaux profondes sont qualifiées d'« hydrothermales » en raison de leur température anormalement élevée ; à la pression atmosphérique, les gaz dissous à grande profondeur, souvent en grande quantité, sont libérés et l'eau pétille (eaux minérales gazeuses).

L'hydrothermalisme se rencontre dans à peu près n'importe quel paysage géologique : en plein domaine cristallin ou plutonique, par exemple à Chaudes-Aigues dans le Cantal (où les sources qui jaillissent à 82°C ne doivent rien à l'ancien volcanisme auvergnat), aussi bien qu'en paysage calcaire (Grèoux-les-Bains, Digne-les-Bains, Aix-les-Bains...). Le cas qui intéresse les spéléologues est naturellement celui où les couches superficelles

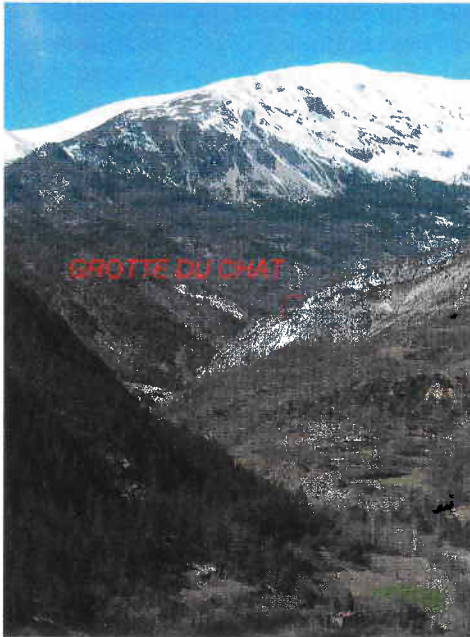


Fig. 1 : la vallée du Riou et la barre barrémienne de la grotte du Chat (photo J-C d'Antoni-Nobécourt)



Fig. 2 : la vasque de la source sulfureuse et ses filaments bactériens (photo J-Y Bigot)

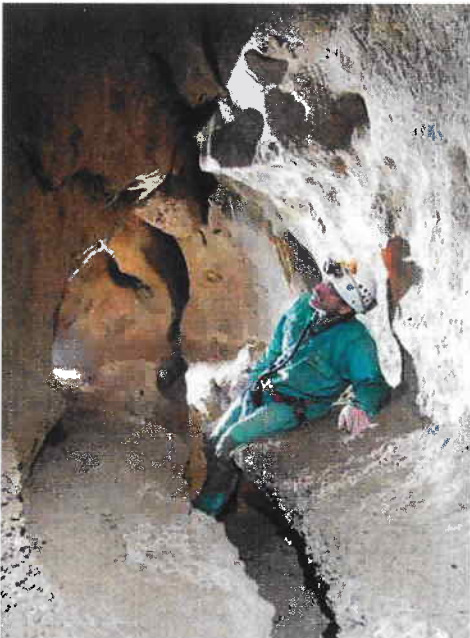


Fig. 3 : galerie dans le secteur du Labyrinthe profondément incisée par un chenal d'écoulement de fluides corrosifs (photo J-Y Bigot)

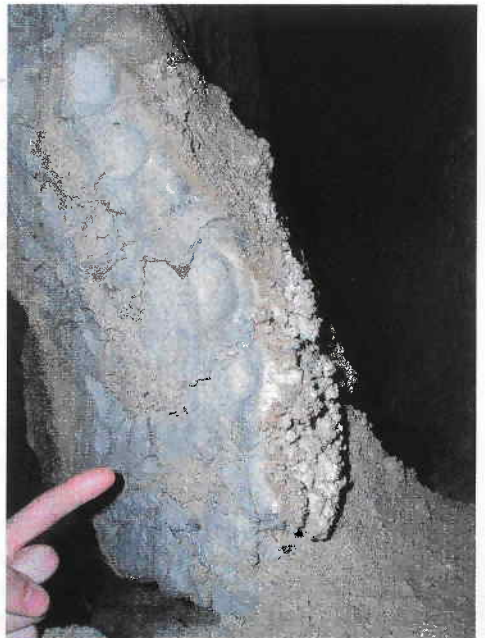


Fig. 4 : processus de corrosion et de déposition sur un même objet dans la grotte du Chat (photo J-Y Bigot)

sont calcaires, car le transit d'eaux hydrothermales va y déclencher une série de processus érosifs et déposionnels spécifiques, à la fois proches et différents d'une karstification « classique ». L'agent de corrosion du karst « habituel » est en effet le gaz carbonique, qui forme avec l'eau un acide faible capable d'attaquer le calcaire, mais, dans le contexte hydrothermal, les concentrations sont massives et le processus de corrosion considérablement plus efficace.

Le second agent de corrosion des cavités hypogées est encore plus agressif, mais ce processus, dans lequel des bactéries jouent un rôle essentiel, ne se met en place que si l'eau a dissous des composés soufrés : dans les conduits profonds, en milieu sulfuré strictement anoxique, aérobie, et sous des températures élevées, des bactéries archaïques, proches de celles qui colonisent les « fumées noires » des dorsales océaniques, se développent. Ces bactéries, dites chimiautotrophes et sulforéductrices, fondent une partie de leur métabolisme sur la réduction des sulfates en sulfures et en sulfites, et rejettent notamment du sulfure d'hydrogène et du soufre natif, exactement comme les organismes supérieurs rejettent du gaz carbonique. À la base de cette chaîne biologique bien circonscrite par certains chercheurs (Barton & Luiszer 2005), une ressource en carbone métabolisable semble requise : elle est puisée soit dans des dépôts fossiles (hydrocarbures dans le cas de Lechuguilla), soit dans des substances organiques piégées dans des remplissages exogènes récents.

Le sulfure d'hydrogène entre dans des boucles chimiques qui aboutissent à la production d'acide sulfurique :

$$H_2S + 2O_2 \Rightarrow 2H^+ + SO_4^{2-}$$

(Hydrogène sulfuré + oxygène => acide sulfurique)

L'oxydation du sulfure d'hydrogène peut se faire grâce à l'oxygène atmosphérique ou à l'oxygène dissous dans des apports d'eau de surface, ce qui implique que la production d'acide sulfurique est maximale au niveau piézométrique, à l'interface air/eau ; mais, même en l'absence d'oxygène libre, les sulfites peuvent réagir avec l'eau pour produire de l'acide sulfurique. Cet acide dissout le calcaire et forme du gypse :

$$CaCO_3 + (2H^+ + SO_4^{2-}) \Rightarrow H_2O + CO_2 + (Ca^{2+} + SO_4^{2-})$$

(Carbonate de calcium + acide sulfurique => eau + gaz carbonique + sulfate de calcium, c-a-d gypse)

Le gypse, très soluble, est éliminé par l'écoulement des eaux.

Une seconde série de boucles biochimiques fait appel à des communautés de bactéries plus ou moins aérobies présentes dans la tranche oxygénée du système hydrothermal. Ces colonies bactériennes, baptisées « smettes » par les chercheurs américains, se présentent dans les cavités actives connues (grotte de Villa Luz, Tabasco, Mexique) comme des amas organiques liés par une matrice visqueuse, collés sur les parois ou pendant des volutes ; elles effectuent la réduction des sulfates et l'oxydation des sulfures en produisant également de l'acide sulfurique et de nombreux acides organiques, distillant des gouttes extrêmement corrosives dont le pH est couramment inférieur à 3, parfois à 1, amplifiant localement le processus de corrosion.

À noter que la corrosion sulfurique du calcaire libère du gaz carbonique lequel, dissous dans l'eau, va élever encore le seuil de saturation de l'eau à l'égard du calcium, et ajouter une corrosion carbonique « classique » à la corrosion sulfurique.

Enfin, dans les niveaux supérieurs des cheminées hydrothermales, des « cuisines » minérales variées et pas totalement connues dans le détail se produisent et abandonnent dans les conduits des remplissages spécifiques. Au contact de l'oxygène véhiculé par

