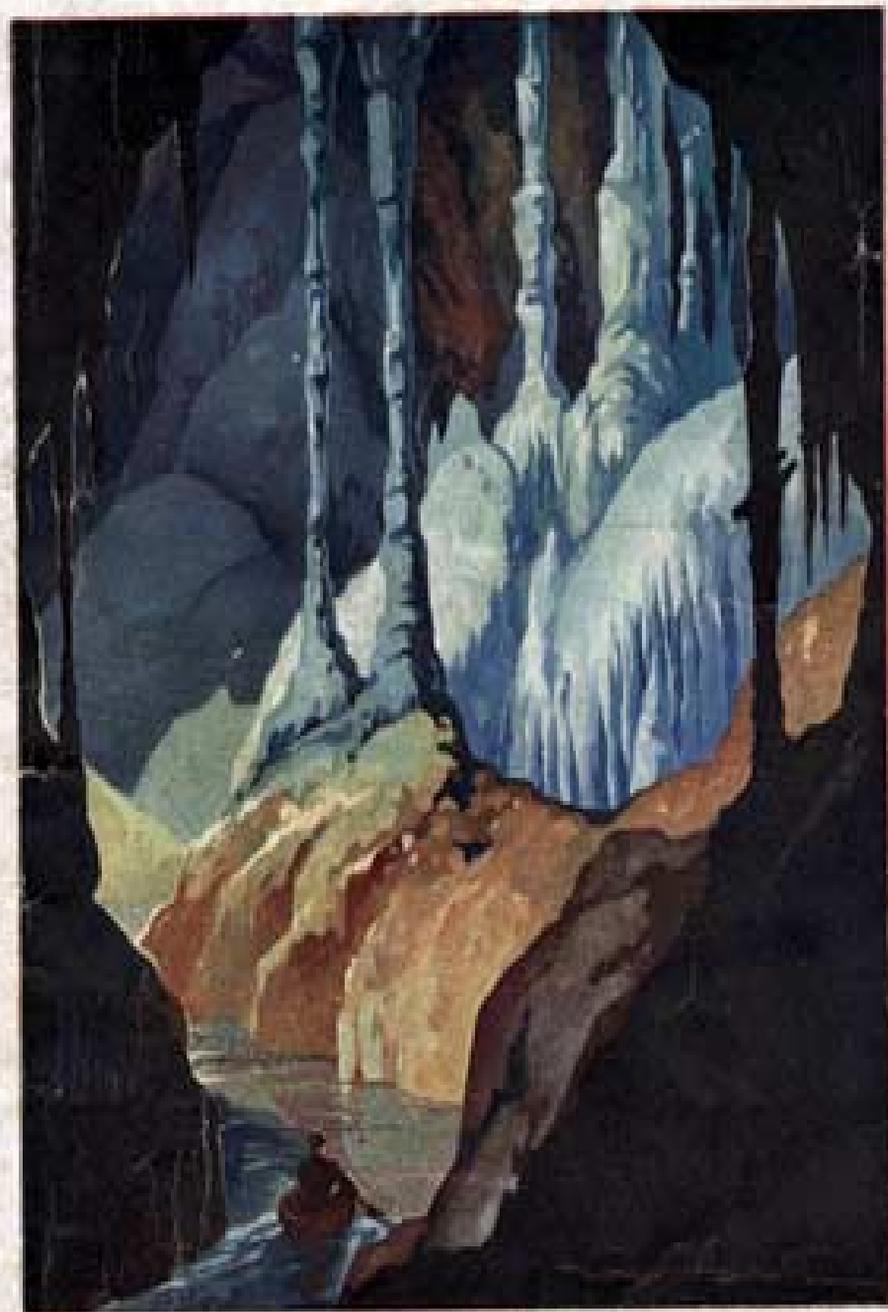


JUIN 1943

N° 310

SCIENCE ET VIE



A LA DÉCOUVERTE DU MONDE SOUTERRAIN : GOUFFRES, GROTTES ET CAVERNES

par André GLORY

Docteur en Préhistoire de l'Université de Toulouse

Les grottes et les cavernes étaient autrefois entourées de mystère, et la terreur qu'elles inspiraient empêchait les hommes de s'y aventurer. Leur exploration relativement récente par des sportifs et par des savants les a presque entièrement dépouillées de leurs secrets. Une science nouvelle est née : la spéléologie qui sait expliquer la naissance, la vie et la mort des cavernes. C'est la circulation des eaux souterraines, eaux de pluies ou pertes de rivières, qui creuse sous la terre ces gouffres, ces galeries et ces salles, puis les délaisse pour s'enfoncer plus profondément dans le sol. C'est elle aussi qui les revêt de ces cristallisations magnifiques qui font l'admiration du touriste. En suivant l'eau dans son parcours souterrain, on peut remonter à l'origine de certaines sources, mettre en évidence le danger de leur pollution. Enfin les cavernes n'ont pas toujours été inhabitées et on y retrouve les traces (dessins, outils, cendres, ossements) des premiers hommes qui y cherchaient refuge contre les bêtes et le froid.

LE monde souterrain a de tout temps intéressé les hommes. Dès l'origine de l'humanité, les tribus préhistoriques cherchèrent dans les cavernes un refuge efficace contre le froid et les carnassiers voraces qui eussent pu attenter à leur vie.

C'est à Chou Kou-Tien, à 50 km de Pékin, que furent trouvées, en 1922, les premières traces de l'industrie humaine la plus reculée. Des cendres, des os travaillés et des quartzites taillés étaient entassés sur une épaisseur de 50 m dans une fissure de calcaire primaire (ordovicien), ancienne grotte à plafond écroulé. Or ces vestiges remontent à l'aurore de l'ère quaternaire.

C'est ainsi que, de Chine jusqu'en Europe et au sud de l'Afrique, les divers progrès humains se sont succédé à tous les âges dans les cavités souterraines. Au Moustérien, le travail de l'os et l'invention du burin; à l'Aurignacien, les premières sculptures humaines; au Solutréen, l'aiguille à chas pour la couture des peaux; au Magdalénien, les peintures polychromes; au Néolithique, l'agriculture et l'élevage des animaux domestiques.

Puis les cavernes furent délaissées. Si le monde gréco-romain s'en occupa, c'est pour les peupler de récits fabuleux et mythologiques. Le moyen âge les craignait et y faisait vivre des dragons et des fées malfaisantes. Les temps modernes enfin les redécouvrent et en étudient les arcanes.

Les premiers spéléologues

Bien inconsciemment, le trappeur Hutchins, en pourchassant un ours blessé, pénètre, en 1809, dans la *Mammoth Cave* des Etats-Unis. Il découvre la plus vaste caverne du monde. En 1842, Bonnemaïson, un chasseur, dégage un terrier à Aurignac (Haute-Garonne) et révèle la célèbre grotte préhistorique. On pourrait multiplier les cas de cow-boys, de bergers,

de braconniers, de gardes-chasse, qui pénètrent fortuitement dans des cavernes maintenant aménagées : Sahuquet à Dargilan, Jim White à Carlsbad, etc..., avant d'arriver à Martel qui les explore méthodiquement.

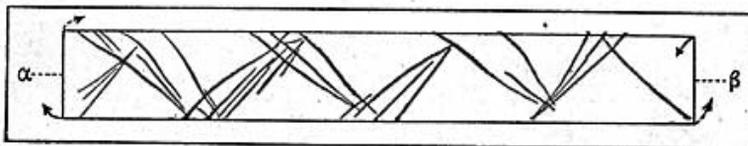
Les travaux considérables de ce grand géologue, commencés il y a une cinquantaine d'années, révélèrent au public une partie des secrets que détiennent les gouffres : la circulation souterraine des eaux sauvages, les pollutions des eaux de puits et de résurgence, le creusement des cavernes, la formation des concrétions (stalactites, stalagmites, etc.), l'existence d'animaux aveugles, etc...

En 1889, Martel descend dans Padirac et, en 1895, se fonde la première Société Spéléologique française que la guerre de 1914 disperse. Martel employait pour ses descentes de lourdes échelles de gymnase, des bateaux en bois, des cordes à diamètre excessif qu'il ne pouvait faire suivre dans tous les dédales d'une caverne. Aussi beaucoup de ses expéditions échouèrent tant en France qu'à l'étranger.

C'est en 1930 que M. de Joly eut l'idée de rénover le matériel ancien en l'allégeant et en lui adjoignant des innovations indispensables. Il reformait la Société Spéléologique de France, qui n'a jamais cessé d'exister. Des chercheurs isolés ou des groupements locaux mirent au point un outillage spécialisé qui compte pour les trois quarts au moins dans la réussite des explorations souterraines. Donnons-en un bref aperçu.

L'éclairage portatif s'est transformé en photophore frontal alimenté par l'acétylène ou les piles électriques. Les échelles de corde se sont mutées en échelles à câbles d'acier et à barreaux d'électron n'excédant pas 100 g par mètre. Les trains de 10, 20, 30 et 50 m s'accouplent les uns au bout des autres par des raccords instantanés.

La tête de l'explorateur est garantie des chutes de pierres par un casque en caoutchouc



T W 24330

FIG. 1. — LE FENDILLEMENT D'UNE GLACE SOUS L'EFFET D'UN EFFORT DE TORSION (EXPÉRIENCE DE DAUBRÉE)

En soumettant une glace à une torsion qui, si elle était plastique, la transformerait en un hélicoïde d'axe $\alpha\beta$, elle se fendille suivant un système de cassures à angle droit. Un phénomène analogue peut donner lieu, lors des déformations de l'écorce terrestre, à des cassures de la roche ou diaclases orientées perpendiculairement les unes aux autres; c'est pourquoi on observe souvent que le cours souterrain d'une rivière emprunte un parcours en zig-zag, alors que la direction générale de ce cours devrait être rectiligne.

mousse épais. Les rivières souterraines sont remontées en bateau pneumatique, d'un poids de 5 kg, se repliant dans un sac tyrolien. Les cuvettes d'eau sont franchies dans des combinaisons étanches en toile caoutchoutée, garantissant le corps de l'eau à 4 et 6°. Les scaphandres genre Le Prieur n'ont pas donné les résultats qu'on en attendait pour franchir les siphons amorcés.

La hauteur des salles est mesurée avec des ballons d'hydrogène qui tirent après eux un fil métre; enfin, les grandes verticales de plus de 100 m sont descendues d'une traite par treuil-bricole glissant le long d'un câble d'acier de 5 mm de diamètre.

Le téléphone et les postes portatifs de T.S.F. à ondes courtes pour assurer la communication avec l'extérieur complètent cet arsenal varié qu'une auto spécialement équipée transporte au bord des « avens ».

La naissance d'une caverne : les cassures de la roche

Chaque caverne a son histoire, et on peut connaître sa naissance, suivre sa croissance et même prédire sa mort. Souvent cette histoire est sensiblement la même pour toutes les grottes d'un massif montagneux ou d'une région, car ces grottes ont la même origine et leur évolution s'effectue sous l'influence des mêmes causes. Mais, d'une région du globe à une autre, on observe au contraire une grande variété dans l'origine, l'âge et l'évolution des cavernes, ce qui rend une théorie générale difficile à élaborer. Il est pourtant possible d'en dégager quelques caractères d'ensemble.

Le point de départ de l'existence des cavernes réside dans les plissements de l'écorce terrestre, plissements qui donnent naissance aux chaînes montagneuses et aux dépressions de la surface du globe. La lithosphère solide ne se plisse pas sans se casser en un certain nombre d'endroits. On observe sur les roches qui la constituent des effets de torsion, de compression, de laminage et de trituration. Les deux premiers seuls nous intéressent parce que seuls ils font apparaître dans les roches des interstices par où l'eau en s'infiltrant commencera son travail d'usure des roches.

Les effets de la torsion sur une plaque rocheuse indéformable ont été étudiés expérimentalement sur « modèle réduit » : pour cela, une plaque de verre rectangulaire est soumise à la torsion au moyen d'un étai. Le gauchissement qu'elle subit fait apparaître un double système de cassures disposées à angle droit (fig. 1). Or, ces cassures, les carriers les ont ob-

servées depuis longtemps dans les couches plissées des roches, et ils leur donnent le nom de joints. Les terrains calcaires sont particulièrement impressionnés par cette torsion, et on observe dans certains terrains des fissures verticales ou obliques, appelées diaclases, qui, quand on peut les suivre, atteignent parfois plusieurs centaines de mètres de haut et de long.

La compression donne lieu à des fendillements rocheux qui sont moins perceptibles. On obtient un système analogue de fentes conjuguées en écrasant des blocs de cire à mouler au moyen de la presse hydraulique.

Ces deux sortes d'accidents, diaclases et fendillements par compression, se complètent par les failles et les joints de stratification.

Quand l'écorce se casse en profondeur, souvent l'une des deux parties séparées se déplace en s'affaissant. Les roches en contact le long de cette ligne de fracture peuvent être alors de dureté et de nature différentes. La faille pourra être droite ou oblique, selon les endroits de dislocation ou se ramifier avec d'autres fractures latérales.

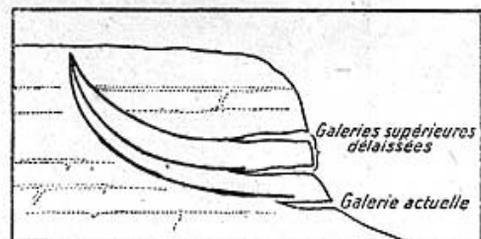
Enfin, lorsqu'une couche sédimentaire se superpose à une autre, elle laisse entre elle et la suivante un minime espace horizontal que l'on appelle joint de stratification.

C'est par les diaclases, les fendillements, les failles et les joints de stratification que l'eau va attaquer la roche et, en élargissant les cassures qu'elle rencontre, y creuser des grottes et des cavernes.

Les eaux souterraines

Les deux tiers ou les quatre cinquièmes des eaux météoriques qui tombent à la surface du sol s'évaporent ou sont fixés par les végétaux; le reste ruisselle sur le sol ou s'y infiltre.

Sollicitée par la pesanteur, l'eau d'infiltration profite de toutes les fissures naturelles pour descendre à un niveau aussi bas que possible. Jusqu'où va-t-elle parvenir? On trouve de l'eau à des profondeurs de l'ordre de 4 000 m dans les forages les plus profonds exécutés à ce jour pour la recherche du pétrole. Il existe pourtant une limite à cette infiltration : la pression interne des couches de la lithosphère fait disparaître les vides de dislocation. Cette limite



T W 24329

FIG. 2. — PROFILS THÉORIQUES D'ÉQUILIBRE D'UNE RIVIÈRE À SES DIFFÉRENTS STADES D'ENFOUSSEMENT

est d'ordinaire évaluée théoriquement à 10 000 ou 12 000 m. D'ailleurs, à cette profondeur, l'eau ne peut plus exister à l'état liquide puisque la température dépasse 365° qui est le point critique de l'eau.

Mais, en fait, si on rencontre de l'eau à de grandes profondeurs sous la terre, cette eau ne nous intéresse pas tant qu'elle ne circule pas, puisque, restant sur place, elle n'use pas les roches. Pour que l'eau circule sous l'action de la pesanteur, il faut qu'elle ressorte de terre — sous la forme d'une source ou d'une résurgence. Une caverne est donc à une altitude comprise entre la zone d'infiltration ou le gouffre qui donne naissance au cours d'eau souterrain et la résurgence.

La profondeur des gouffres sera donc au plus égale à la différence de niveau entre ces deux points. Les massifs calcaires les plus amples, comme les Alpes, le Jura, les Pyrénées, fourniront des gouffres de 200 à 300 m, tandis que ceux des Causses ne donneront que des profondeurs de 100 à 200 m en moyenne.

Entre ces deux altitudes, le cours d'eau souterrain, tout comme les cours d'eau subaériens, va creuser son lit jusqu'à ce que le profil en long de celui-ci tende vers une courbe limite appelée par Surell,

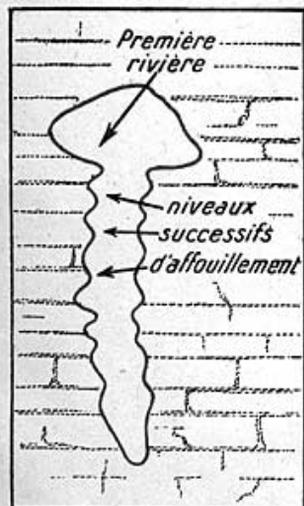


FIG. 3. — UNE RIVIÈRE DONT LE LIT S'ENFONCE PROGRESSIVEMENT SOUS TERRE

Le schéma ci-dessus représente une coupe transversale de la diacase de La Baume-Latrone (Gard). En s'enfonçant par l'effet de l'érosion, la rivière qui l'empruntait jadis a creusé sept lits successifs dont on retrouve la trace grâce à sept niveaux d'affouillement des parois.

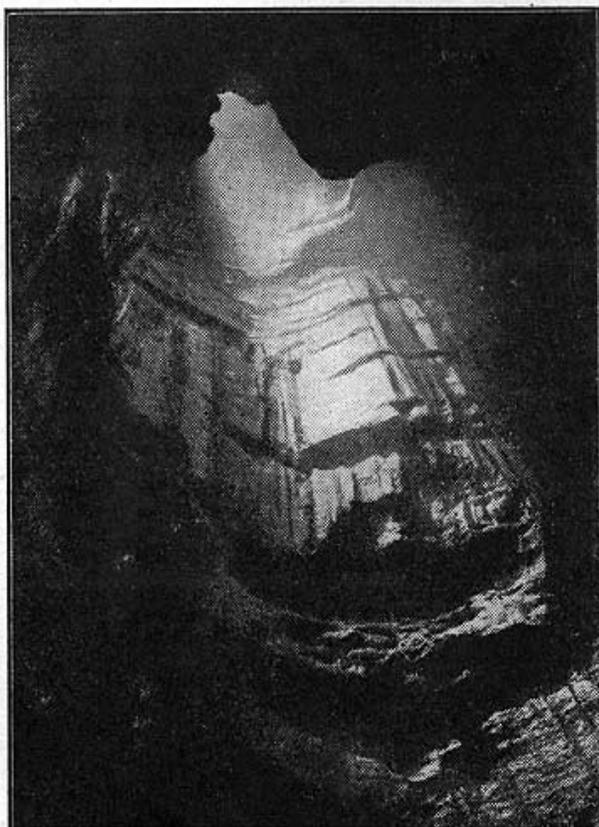


FIG. 4. — LE GOUFFRE DE MALATERRE (ISÈRE) (Photo Bourgin)

Les parois de cette cheminée qui descend d'un seul jet à une profondeur de 120 m sont creusées de cannelures verticales dues aux effets de dissolution et de corrosion de la roche par les eaux de pluie et de ruissellement.

en 1838, profil d'équilibre absolu. Le profil est atteint, c'est-à-dire le creusement de la caverne s'arrête lorsque l'apport des matériaux stabilisés (sables, galets, vase, argiles) dans son lit inférieur fait équilibre à l'érosion et la corrosion des eaux de pénétration.

Etudions par quelles phases de creusement un torrent souterrain atteint son profil d'équilibre. On y reconnaît l'influence de

deux sortes de phénomènes : les uns chimiques et les autres physiques.

Comment s'agrandit une caverne : la dissolution et la corrosion des roches

Les roches qui se dissolvent le plus facilement dans l'eau sont les roches salines, sélé-niteuses ou à base de chlorures ou de sulfates. Mais elles ne donnent pas naissance à des grottes, car les vides qui résultent de la dissolution des roches ne tardent pas à se combler par un tassement consécutif. Les terrains superficiels se disloquent et présentent un paysage lunaire d'entonnoirs circulaires (que l'on nomme *oules*, *oulettes*, dans les Alpes françaises, col du Mont Cenis).

La solubilité du calcaire est moins grande que celles des sulfates. Mais ici à la dissolution vient s'ajouter un phénomène chimique. Le carbonate de chaux est soluble dans l'eau à raison de 0,1 g par litre à 10°; mais il peut atteindre une concentration de 1,5 g à 0° sous une pression de 1 kg de gaz carbonique. Cette différence de solubilité provient de ce que le gaz carbonique agit sur le carbonate de chaux en présence de l'eau, pour former un bicarbonate qui est soluble dans l'eau.

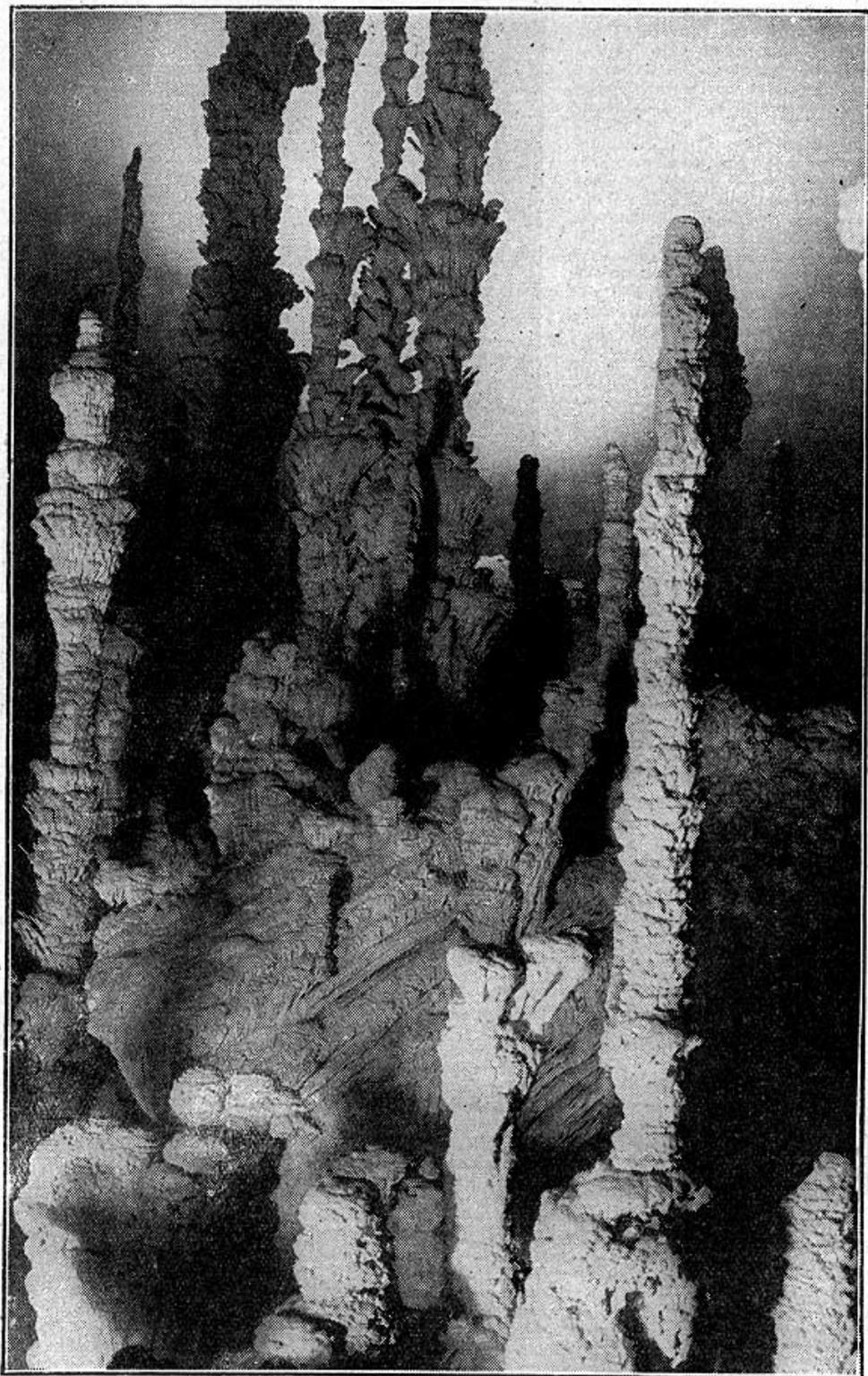


FIG. 5. — UN GROUPE DE STALAGMITES DANS L'AVEN D'ORGNAC (GARD) (Photo A. Perret, Pont-St-Espirit)

T W 24340

Cette réaction est d'ailleurs réversible et, en particulier sous l'action d'une élévation de température, le gaz carbonique peut se dégager et le carbonate insoluble précipite. Aussi l'eau qui peut dissoudre le calcaire peut aussi à l'occasion donner naissance à des concrétions calcaires comme nous le verrons à propos de l'habillage des grottes.

Les eaux météoriques qui sont imprégnées de gaz carbonique produisent dans les fissures des effets dissolvants considérables.

En tenant compte du débit, de la température, de la teneur en sel des venues d'eau rencontrées sous terre au cours de la percée du tunnel du Simplon, Schardt a calculé que la masse fluide enlevait par dissolution 40000 m³ de minéraux à la montagne par an.

On admet que la Lesse qui traverse la grotte de Han, en Belgique, lui enlève plus de 5 000 kg de matières solides par jour, soit près de 1 900 000 kg par an. On comprend dès lors que les parois des diaclases et des failles s'agrandissent par régression de la pierre absorbée par l'eau.

Cette décalcification intense y laisse d'ailleurs des marques certaines. Dans les grands puits verticaux (fig. 4), on peut voir de profondes cannelures qui se suivent en tuyaux d'orgue; elles collectent les eaux qui tombent de la surface. Quand les sillons s'approfondissent, les lamelles de séparation se désagrègent et lentement le diamètre du puits augmente.

Lorsque les ruisselets sont déviés, par exemple par l'obliquité des strates, l'eau descend en pas de vis en burinant d'amples spirales d'érosion comme celle de 160 m de l'aven de Jean-Nouveau. Ce phénomène est très fréquent dans les cheminées ascendantes qui prennent un aspect hélicoïdal.

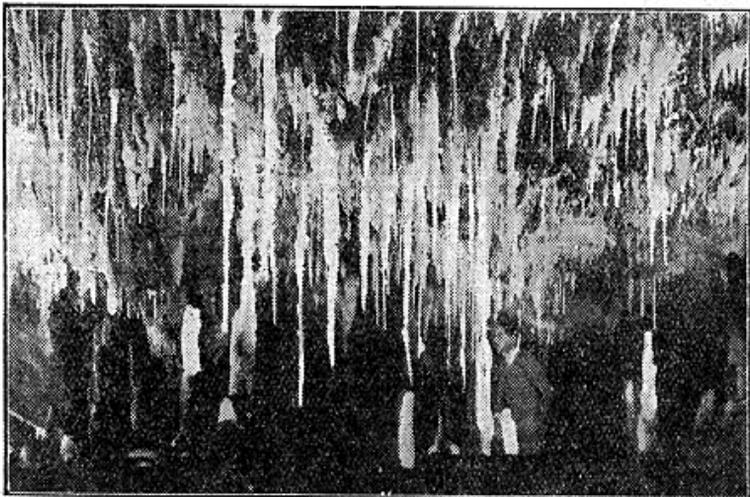
On peut aussi admettre, et c'est le cas pour certains scialets du Dauphiné qui s'ouvrent au sommet de croupes, un creusement produit par le tourbillonnement de torrents sous-glaciaires.

C'est ainsi que naissent et croissent les puits et abîmes naturels qui ont reçu, suivant les régions, les noms les plus divers (1).

C'est dans les parties des grottes où le débit d'eau est assez fort pour entraîner les matériaux qui dans une eau tranquille tomberaient au fond, que mordent les agents érosifs. On pense qu'un courant d'eau doué d'une vitesse de 0,6 m/s suffit pour entraîner des particules de sable. Que dire lorsque la vitesse atteint plusieurs mètres à la seconde?

La force des eaux dut être particulièrement vive à certaines phases du quaternaire ancien,

puisque plusieurs blocs de granit, pesant plusieurs centaines de kilogrammes, ont été transportés dans l'intérieur de la grotte de Lombrives (Ariège) à plus de 500 m de l'entrée. Emportés par le courant, les rochers cheminent au fond de la masse fluide en se frottant les uns contre les autres; leurs angles s'arrondissent, leur surface se polit et ils prennent une forme sphérique ou ellipsoïdale; plusieurs tombent dans le fond des cupules contenant déjà des graviers et des petits cailloux ronds qui tourbillonnent sur place. Mais presque tout le tra-



(Photo Gilry.)

FIG. 6. — LE RIDEAU DES STALACTITES DE LA GROTTA DE COURNOIU (HÉRAULT)

T W 24336

vail de forage de ces marmites de géants qui couvrent le fond des lits torrentiels revient surtout à l'action érosive du sable.

Selon leur stade de formation, le spéléologue reconnaît les simples cupules, les marmites à fond concave, puis à fond cylindrique. Les plus vieilles ont une base en forme de poire qui peut quelquefois atteindre plus d'un mètre de profondeur.

Le tourbillonnement de l'eau est particulièrement intense aux bifurcations des galeries, dans les grandes ruptures de pente, au pied des cascades et des chutes de cheminées, là où le fluide rencontre une saillie, un obstacle à sa marche.

La base des parois calcaires n'échappe pas à l'usure des mouvements giratoires; elle s'élargit en des poches concaves qui sapent les fondements et donnent à la galerie un profil en V inversé.

Comme les marmites se succèdent bout à bout, leur agrandissement par usure des parois les fait communiquer entre elles.

Dans l'aven de Rognès (Gard), plusieurs cuvettes sont confondues par la base, alors que les bords supérieurs forment des petits ponts suspendus. Le phénomène est fréquent dans les cheminées obliques où les marmites superposées dévalent les unes des autres.

A un moment donné, le plancher rocheux défoncé par ces excavations étagées s'abaisse; le cours d'eau s'enfoncé ainsi dans le sol en laissant des rebords successifs témoins de ses anciens niveaux.

Quand l'eau est profonde et qu'elle s'écoule sans hauts, elle use par le sable qu'elle trans-

(1) Catavothres (Péloponèse), bétoltes (Causses), emposieux (Jura), avens (Ardèche), tindouls (Rouergue), igues (Quercy), chourums (Devouly), scialets (Dauphiné), etc...

porte les rives de son cours en une zone concave. Dans la galerie axiale de Labaume-Latrone (Gard), on peut ainsi compter sept niveaux superposés (fig. 3).

Lorsque la rivière atteint ainsi un nouveau sol moins friable, elle rencontre le joint de stratification qui sépare les deux couches. Les eaux se répandent alors en largeur, en affouillant les vides latéraux. L'érosion crée des salles basses à profil elliptique à grand axe horizontal. Les marmittes s'y voient aussi, mais l'œil doit les chercher au plafond décoré d'une série de petites coupoles plus ou moins profondes.

L'érosion burine encore des vagues en coups de gouge, des langues pendantes et des dentelles de rochers.

La grotte Perret, du Massif des Echelles (Grande-Chartreuse), contient des spécimens de vagues, sortes de cuillères allongées qui se suivent très serrées comme un banc de poissons gravés en creux. La partie la plus effilée indique la direction de l'eau, précieuse indication pour retrouver sa route sous terre.

Les dentelles de rocher sont assez fréquentes. Les parois découpées en fines lamelles sont déchiquetées; celles de l'avenue de Rognès (Gard) sont particulièrement coupantes et nombreuses. La pression de l'eau à cet endroit a été estimée à 40 kg/cm².

Ce travail de l'érosion explique la formation de ces successions de salles élevées (diaclasses) basses et larges (joints de stratification) souvent voûtées en dômes communiquant ensemble par de longs et étroits couloirs rectilignes ou tortueux (fendillements, fissures).

La loi du profil d'équilibre impose à l'eau un enfouissement successif; les galeries supérieures sont délaissées au profit des galeries inférieures. Si les premières appartiennent aux grottes sèches les secondes sont humides, argileuses, remplies de petits lacs et de siphons souvent infranchissables.

Mais à côté de ce travail relativement lent, des phénomènes catastrophiques viennent parfois modifier d'un seul coup la physionomie des grottes.

Les effondrements

Les strates rarement horizontales, le plus souvent inclinées, perdent leur équilibre. Des pans entiers de rocher, des plaques de calcaire épaisses de plusieurs mètres, se détachent des voûtes et s'effondrent en un monstrueux chaos de blocs de plusieurs centaines de mètres cubes. Il en résulte des petits tremblements de terre locaux que les sismographes enregistrent. Ainsi, l'un d'eux, au massif du Simplon, a fait soudainement disparaître un petit lac qui s'écoula dans le tunnel en voie de percement.

Les énormes chaos de rochers qui jalonnent

le fond des grandes allées de Niaux, Lombrives (Ariège), d'Orgnac (Gard), de Betharram, de la Grotte des Demoiselles (Hérault), sont dus à des effondrements. Comme ceux-ci se rencontrent quelquefois sur toute l'étendue d'une caverne, il y a lieu de se demander si certains n'ont pas été causés aussi par des tremblements de terre régionaux.

Les effondrements ont pour effet de rapprocher le plafond des cavernes de la surface du sol jusqu'à l'effondrement final qui sera la mort de ces cavernes. Les chaos de pierre qui encombrant les cavernes s'éliminent eux aussi, moitié par l'érosion lente et moitié par l'action brutale des crues.

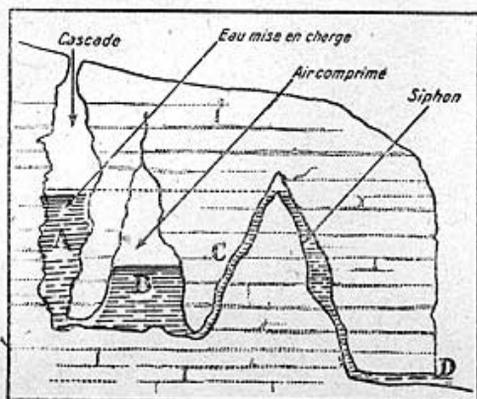


FIG. 7. — COUPE SCHEMATIQUE EXPLIQUANT L'ORIGINE DES RESURGENCES A JET D'EAU INTERMITTENT

L'eau qui tombe de la cascade s'accumule dans la cheminée A, dans la salle B où elle comprime l'air qui la surmonte et dans la branche montante C du siphon. Quand son niveau atteint le coude de la galerie qui forme siphon, celui-ci s'amorce brusquement et la resurgente D débite aussi longtemps qu'il reste de l'eau en A et B; après quoi, le siphon se désamorce et le cycle recommence.

Les crues des eaux souterraines

Comme les rivières à ciel ouvert, les cours d'eau souterrains ont leurs crues, mais, tandis que celles-là disposent pour loger le trop-plein de leurs eaux d'un espace illimité vers le haut, les crues des fleuves souterrains vont se traduire par des phénomènes d'une grande brutalité.

Le cours d'eau reprend alors possession des galeries supérieures qu'il avait abandonnées ou déborde dans les galeries voisines qui sont sèches en temps ordinaire.

Dans le Vercors, la grotte des Déramats habituellement visitable donne un gros débit d'eau après la fonte des neiges. La destruction d'une voûte mouillante à l'aide de la dynamite fit découvrir que la resurgente n'était que la soupape de sûreté d'une rivière souterraine supérieure qui grossit très rapidement. Dans des boyaux étroits, Bourgin a constaté des montées brusques de plusieurs dizaines de mètres en quelques heures.

La grotte de Fontanet, dans l'Ariège, présente des écoulements soudains qui noient les siphons. La grotte de la Vapeur a des montées brutales de 24 m d'eau (Ussat-les-Bains, Ariège). Le gouffre de Peillot-Cazavet (Ariège) offre des crues de 45 m; dans d'autres régions, la dénivellation peut atteindre une centaine de mètres.

L'afflux des eaux dans des galeries basses, dans des étroitures très exiguës, produit des mises en charge d'une puissance insoupçonnée. L'événement de Rognès (Gard) fait jaillir à certaines époques une puissante colonne d'eau précédée d'un coup de bélier sonore semblable à un coup de tonnerre lointain. La Goule Noire de l'Ardeche, le Goueil di Her près d'Arbas (Ariège) expulsent des jets de 6 à 10 m de long.

La courte durée du phénomène accompagné de sifflements d'air ne peut s'expliquer que si l'eau s'accumule en de vastes réservoirs qui compriment l'air emprisonné entre deux siphons; quand la mise en charge du premier siphon augmente la pression, le second s'amorce brusquement et, à un moment donné, vide

l'ensemble. L'air se détend alors et chasse l'énorme masse d'eau qui envahit subitement toutes les galeries et fuse avec force à l'extérieur (fig. 7).

Ces compressions d'air et d'eau dues à l'engorgement de galeries supérieures font éclater les points faibles des joints, disloquent les strates, crèvent les bouchons et les verrous calcaires qui coiffent certains gouffres. La chute de la voûte du puits de Padirac est due à un effondrement analogue.

Les diverses actions conjuguées de corrosion, d'érosion, d'effondrement et de pression hydraulique régies par les lois générales de l'hydrologie, vont créer des cavernes dont la longueur, la hauteur, la forme, la direction donnent des résultats sensiblement différents selon chaque cas particulier.

Le gouffre le plus profond de France

Les dimensions des cavernes sont extrêmement variables et difficiles à apprécier à cause de leurs nombreuses ramifications. Certaines équipes de spéléologues se sont spécialisées à en relever le plan général. Si aucune étude d'ensemble n'a encore été tentée, du moins peut-on en donner quelques aperçus.

Quelle est la plus longue caverne du monde? C'est celle du Mammoth, dans l'Etat de Kentucky aux Etats-Unis, dont l'amplitude doit dépasser 100 km et non 350 km comme on l'a écrit autrefois. Lorsque des travaux de désobstruction la feront communiquer avec les cavernes voisines (White, Dixon), sa longueur pourra dépasser 250 km. Le deuxième rang est tenu par le Texas, avec la Carlsbad Cavern qui atteint environ 50 km.

En Europe, l'Eisriesenwelt, située à 1 700 m d'altitude, près de Salzbourg (Autriche), présente un dédale de 30 km, tandis que celle de Postumia (Adelsberg) n'a que 23 km de gale-

ries. Curieuse percée que celle d'Agtelek qui réunit souterrainement la Hongrie et la Slovaquie sous la frontière par une communication de 18 km.

Citons encore à l'étranger celle du Dachstein, en Autriche, avec 13 km, de Lapa de Brejo, au Brésil (6 km), le Lur-Loch, en Styrie (5 km), et Han-sur-Lesse, en Belgique (5 km).

En France, la rivière souterraine de Bramabiau (Gard) a creusé un lacs de 10 km de galeries. Mais le gouffre le plus profond de France n'est plus le gouffre Martel, mais le Trou du Glaz (Isère) dont nous donnons les derniers renseignements inédits, communiqués par son vaillant explorateur, P. Chevalier.

Son réseau de galeries et de puits a demandé sept ans d'explorations, totalisant trois cent cinquante heures de recherches sous terre réparties en vingt-cinq expéditions dont l'une a duré plus de trente-deux heures.

Profonde de 443 m, la cavité mesure 9 300 m de développement dont 1 100 mètres de puits verticaux sur lesquels 400 m sont arrosés en toute saison. Lorsque P. Chevalier

aura relié la galerie supérieure au sommet du plateau de la Dent de Crolles par une suite de pénibles désobstructions, la percée atteindra plus de 650 m, se classant alors première du monde (fig. 11).

Parmi les autres cavernes françaises remarquables pour la longueur de leurs galeries, citons celle de Miremont en Dordogne (5 km), la Côte Patière en Ardèche (4 km), l'Aven de Rognès dans le Gard (4 km).

La série des 3 km comprend : Betharram (Basses-Pyrénées), Labouiche, la Cigalière, Lombrives et Niaux (Ariège), Padirac (Lot), Saint-Marcel-d'Ardèche et Trabuc (Gard).

Il serait fastidieux d'énumérer la liste des gouffres les plus profonds. Notons-en les principaux dans ce tableau :

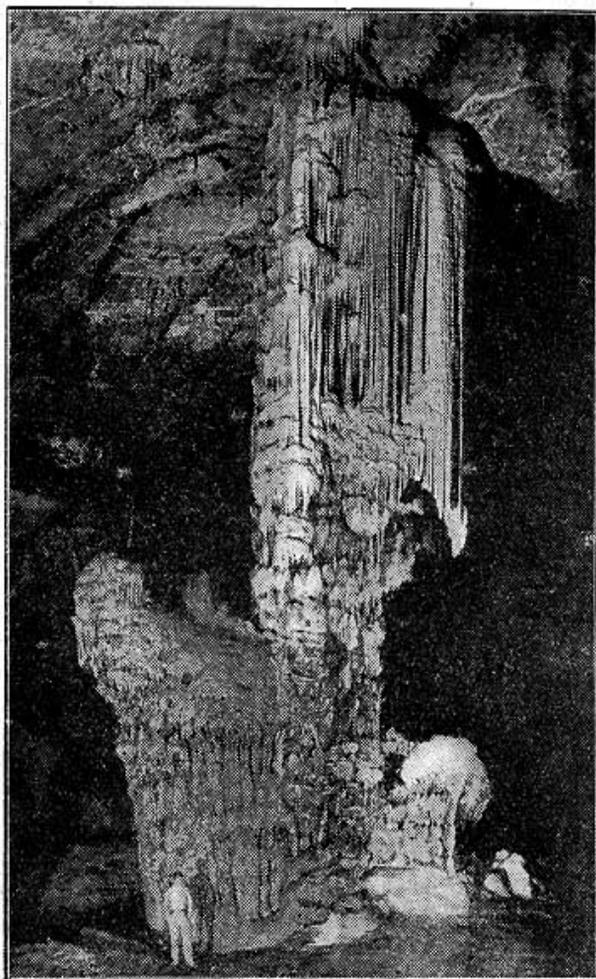


FIG. 9. — GRAND PILIER ROUGE ET BLANC DANS L'AVEN D'ORGNAC (GARD) (Photo A. Perret, Pont-St-Esprit)

T W 24334

Abîme de la Preta (Italie).....	637 m
Bouche d'Eole (Italie).....	559 m
Gouffre de Tonion (Autriche)....	557 m
Abîme Verco (Italie).....	518 m
Abîme Montenero (Italie).....	480 m
Abîme Bertarelli (Italie).....	450 m
Trou du Glaz (France).....	443 m
Abîme Prez et Clarra (Italie)....	420 m

fois au jour en deux regards de 120 m de profondeur. La perte du Rhône à Bellegarde n'a que quelques centaines de mètres de long. L'incendie des usines Pernot, construites sur le bord du Doubs, y fit couler une grande quantité d'absinthe que les riverains du Lison et de la Loue dégustèrent avec volupté. Enfin, 70 kg de fluorescéine jetés le 19 juillet 1931, à 20 h, à 2 000 m d'altitude, dans le gouffre du Trou di Toro, par Casteret, a coloré en bleu-vert la résurgence des Goucils de Jouéou (1 400 m), principale source de la Garonne, en Val d'Aran espagnol, le 20 juillet, avant six heures du matin; le trajet souterrain est donc de 3 850 m avec une vitesse de courant de 400 m à l'heure.

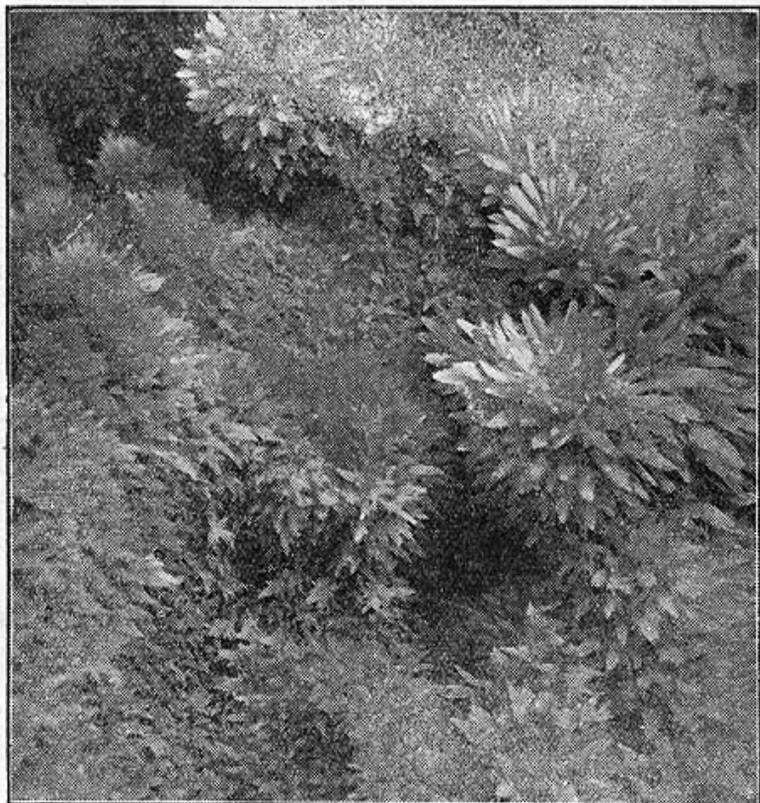


FIG. 9. — UN PARTERRE DE FLEURS EN CRISTAL DES DÉMARATS (DAUPHINÉ)
(Photo A. Bourgin)

Chourum Martin (Hautes-Alpes)...	310 m
Gouffre Martel (Ariège).....	303 m
Puits d'Audietto (Basses-Pyrénées).	250 m
Combe de Fer (Isère).....	217 m
Chourum Dupont (Isère).....	216 m
Gouffre de la Luire (Isère).....	213 m
Rabanel (Hérault)	212 m
Aven Armand (Lozère).....	207 m
Gouffre du Paradis (Doubs).....	205 m
Aven de Hures (Lozère).....	205 m

Enfin, la plus vaste chambre souterraine est à Trieste; sa voûte atteint 138 m de haut et 240 m de long, et la plus haute verticale d'un seul jet est en Italie (Abîme Revel) avec 316 m.

Les pertes et les résurgences des rivières

La circulation des eaux souterraines explique les « pertes » et les détournements des cours d'eau subaériens traversant les terrains calcaires. A l'est de Trieste, le torrent Timavo s'enfouit dans la roche et ressort à 70 km plus loin au nord de l'Adriatique, réapparaissant deux

l'action d'une légère élévation de température par exemple, le calcaire se dépose. Chaque goutte d'eau laissera au plafond d'où elle tombe, ou par terre où elle s'écrase, quelques milligrammes de calcaire. L'accumulation lente de ce calcaire donnera naissance à cinq principaux groupes de matériaux des parois : les stalactites, les stalagmites, les concrétions de ruissellement, les concrétions de dépôts et les excentriques.

Les stalactites

Elles se présentent généralement sous la forme de tubes à diamètre variable, pendant du plafond vers le sol, selon les lois de la pesanteur. Elles possèdent en leur axe un fin canal d'un diamètre compris entre deux et cinq millimètres par où passe la liqueur saturée. La petite goutte d'eau terminale qui reste suspendue de longs moments à l'extrémité du canal y dépose sur le bord circulaire une légère pellicule de carbonate de chaux qui cristallise. Lorsque l'air est calme, le débit et la saturation d'eau sont constantes, le tube de cristal croît régulière-

L'habillement des grottes

Une rivière souterraine active use et lave les parois de son lit en empêchant la formation des concrétions. Ce n'est qu'au moment où elle s'enfonce dans un étage inférieur ou qu'elle se résorbe que les parois de la galerie se couvrent de concrétions de toutes sortes.

Nous avons vu, en effet, que l'eau chargée de gaz carbonique peut dissoudre beaucoup plus de calcaire que l'eau pure. Si cette eau chargée de calcaire vient à perdre son gaz carbonique, sous

ment et peut atteindre une longueur de deux mètres. Des centaines de ces pailles translucides décorent le plafond de la grotte de Coufin dans le Vercors.

Mais l'eau qui s'écoule à la voûte et le long des parois recouvre en vagues successives l'extérieur de la baguette qui croît alors en épaisseur. L'extérieur restera plus ou moins cylindrique si le ruissellement est régulier, mais prendra une forme conique si l'arrivée d'eau est irrégulière (Lacave, Betharram, Courniou (fig. 6). En les sciant, on peut voir une succession de cercles concentriques, semblables à l'aubier d'un arbre.

cornus (le Faune à Orgnac), des vaisseaux à tourelles, des massifs, des choux-fleurs, etc...

Concrétions de ruissellement

Appartiennent à cette catégorie toutes les stalagmites qui se forment le long des parois latérales par suintement de l'eau qui sort des fissures, des cheminées nouvellement obstruées. Elles composent des draperies plissées, des bandes très minces translucides garnies de fronces et ce qu'on appelle vulgairement des oreilles d'éléphants. Les suintements suivent la loi du « glissé ». Une goutte d'eau coulant sur une



T W 24338

FIG. 10. — FLEURS DE GYPSE RECUEILLIES DANS UNE CAVERNE DE LA HAUTE-SAONE (DEMI-GRANDEUR NATURELLE) (Photo R. Pelletier)

Les courants d'air qui sévissent dans certains passages étroits peuvent rejeter l'eau sur le côté et faire dévier la stalactite qui s'incline légèrement ou descend en oblique.

Les stalagmites

En tombant en cadence sur le sol, la petite goutte d'eau creuse d'abord une petite cupule. Le choc et l'éclatement de l'eau libère le gaz carbonique par évaporation; le carbonate se dépose autour du creux et monte une canne, une colonne, selon le débit d'eau (fig. 5). Généralement, les cascates produisent de puissants massifs mamelonnés.

Lorsque la voûte est particulièrement haute, la goutte s'écrase au sol en une multitude de gouttelettes à diamètre très petit. Ces éclaboussures forment alors autour du pilier central de larges feuilles épaisses qui s'imbriquent les unes au-dessus des autres donnant à l'ensemble l'aspect d'un palmier. L'aven d'Orgnac (Gard), découvert par MM. de Joly et l'abbé Glory en août 1935, en possède de remarquables; l'un d'eux, haut de 13,5 m, a des feuilles de 0,4 m d'épaisseur.

Si la goutte aérienne est déviée dans sa descente, elle construit une colonne torse, de curieux porte à faux, qui prennent quelquefois la forme de grandes baïonnettes.

Les causes physiques et mécaniques modifiant dans chaque cas la disposition du dépôt de calcite construisent les formes les plus extravagantes, des espèces de statuettes évoquant des femmes voilées (Vierges des Demoiselles à Montpellier. Baume de la Quartière à Orgnac, de Presque dans le Lot...), des animaux

paroi verticale se dirige selon le glissé le moins adhérent.

Quelquefois, par phénomène d'imbibition et de cristallophylic, le liquide saturé construit de grands disques de 1,5 m de diamètre qui se détachent en surplomb de la paroi (Orgnac). Dans beaucoup de cavités, spécialement dans celles à basse température, se rencontre le « mondmilch », carbonate à consistance molle et d'aspect colloïdal.

Concrétions de dépôts

Une vasque de pierre due à l'érosion se remplit d'eau durant la période humide. Par évaporation lente du gaz carbonique, la surface se recouvre d'une mince pellicule de cristaux qui nagent comme un radeau. On l'appelle *calcite flottante*. En s'accumulant sur les bords de la vasque, elle constitue un petit barrage qui monte avec les siècles. Ce sont les *gours*.

Lorsque le bout d'une stalactite est noyé dans une arrivée d'eau accidentelle, son extrémité se recouvre d'un cône de rhomboédres. Certains planchers se laissent envahir par des efflorescences de cristal, sortes de minuscules buissons aux ramilles bourgeonnées. D'autres fournissent des fleurs en gypse fibreux (La Cigalère, Ariège) (fig. 10), ou des éclatements de calcite qui prennent l'allure de chrysanthèmes (Les Démarats, dans le Dauphiné (fig. 9).

Les perles de caverne se recueillent dans des petites cupules remplies d'eau agitée. Nous en avons relevé sept espèces différentes depuis celles qui ont l'aspect d'une porcelaine fine et brillante jusqu'à celles qui sont granuleuses ou à facettes.

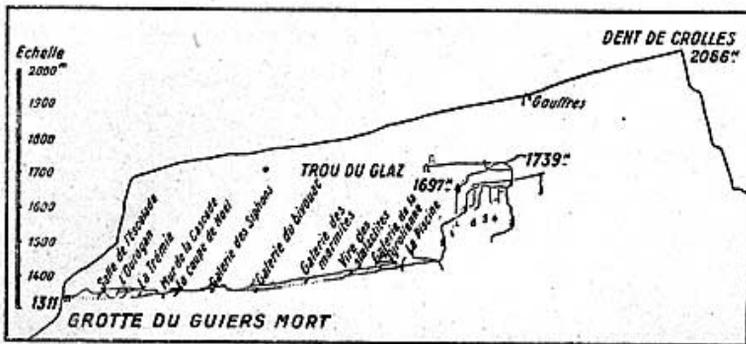


FIG. 11. — PROFIL VERTICAL DU GOUFFRE DU TROU DU GLAZ, LE PLUS PROFOND DE FRANCE (443 M), D'APRÈS P. CHEVALIER

Excentriques

Les excentriques sont des stalactites qui croissent en tous sens, même verticalement, défiant toutes les lois de la pesanteur (fig. 14). Leur formation n'offre plus rien de mystérieux depuis que nous avons repris et complété les travaux de Printz sur leur mode de croissance.

L'eau, ordinairement sous pression, franchit une paroi poreuse pour produire une gouttelette microscopique qui construit un fin fourreau de calcite. Chaque petit fil cristallin, chaque aiguille remontante sont pourvus d'un fin capillaire axial d'un diamètre qui peut atteindre 0,008 mm. Parcouru par l'eau saturée, il croît sous l'influence de deux groupes de forces physico-chimiques, les unes extérieures, les autres intérieures (fig. 13).

Extérieurement, l'abondance plus ou moins forte de l'eau de ruissellement, l'apparition de kystes parasitaires et de fêlures dans le cristal, l'évaporation plus ou moins rapide du gaz carbonique, les circuits de convection d'un air qui se meut lentement, la rencontre accidentelle d'une paroi ou d'une autre cristallisation, peuvent faire changer plusieurs fois de suite la direction du conduit presque imperceptible.

Intérieurement, le liquide saturé, selon

les variations de concentration du sel, de la pression hydraulique, du débit d'eau et des obstructions dues à des impuretés, retarde ou augmente la croissance du capillaire. La conjugaison ou l'opposition de ces dix phénomènes agissant sur le capillaire constructeur explique les aspects multiples des excentriques, en forme de feuilles, de serpents, d'anneaux, de vrilles, d'aiguilles, etc... (fig. 15).

Les cristaux de calcite peuvent être colorés de sels minéraux (oxyde de fer, manganèse, carbonate de cuivre), de teinte rose, ocre jaune et brun, rouge, pourpre, vert émeraude (Orgnac, La Cigalère, Presque...).

Mais généralement les stalactites varient du blanc mat au cristal transparent. Le temps de formation des concrétions est extrêmement va-

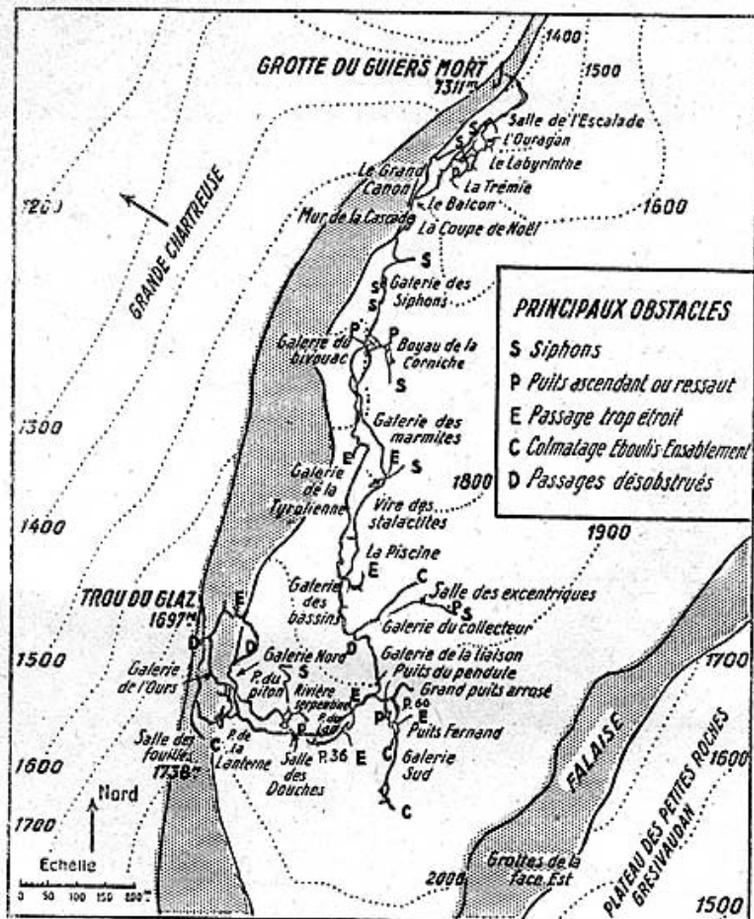


FIG. 12. — PLAN DU GOUFFRE DU TROU DU GLAZ D'APRÈS P. CHEVALIER

T W 24328

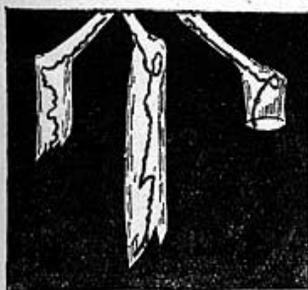
riable selon les régions, les saisons, le débit d'eau, la concentration de sel. On ne peut avancer aucun chiffre précis, malgré les affirmations de ceux qui enseignent qu'il faut cent ans pour précipiter 16 cm³ de carbonate.

La respiration des gouffres

L'air souterrain a une température moyenne entre celle de l'hiver et de l'été du lieu où est située la grotte. Généralement de 10 à 12° dans le Gard, les Causses, la température peut baisser à 4° et même plus bas dans les grottes situées au delà de 1 000 m et 2 000 m d'altitude, comme celles que nous avons explorées dans le Vercors.

Le degré thermique est généralement constant, mais peut être modifié par l'évaporation et les courants d'air, fonction de la température extérieure. Un seul cas, unique en France, fait exception : c'est la grotte de la Vapeur de l'Ariège, chauffée naturellement à 22° par les eaux thermales d'Ussat-les-Bains.

Dans les Pyrénées, on trouve des grottes glaciaires dont la glace, d'après certains indices, peut remonter aux âges préhistoriques. En Vercors, celles qui sont situées vers 1 200 m d'altitude fabriquent de la glace toute l'année, grâce à une ventilation à sens unique qui aspire constamment de l'air froid. L'eau de ruissellement se congèle en cascade de glace à Corrençon, Autrans, Vassieux, forêt de Lente (Isère). Quand les variations thermiques de l'air extérieur sont considérables comme à Herbouilly (+ 30° à midi, 0° à 9 heures du soir, le 15 août 1937), l'air intérieur saturé s'échappe des goules en se condensant en une nappe dense de brouillard qui noie la plaine. Aussi l'appelle-t-on le *Gour Fumant*. Le même phénomène se produit sur les Causses en hiver : les trous fument. Les courants d'air sont quelquefois si violents dans les étroitures incurvées qu'ils vibrent en produisant des sons de basse tonalité semblables à des mugissements.



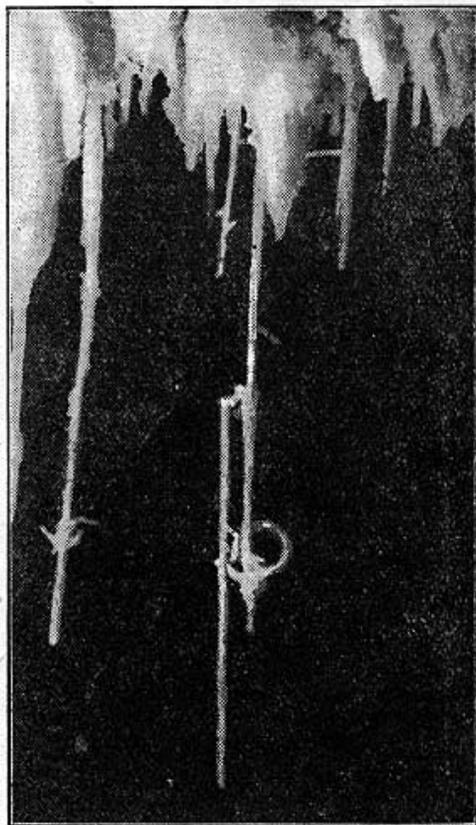
T W 24335

FIG. 13. — SCHEMA DE PRINCIPE DE LA FORMATION DES EXCENTRIQUES

Chaque stalactite est formée par l'eau qui suinte de la roche et vient, par un canal capillaire, former une goutte d'eau à son extrémité. Avant de tomber, cette eau se débarrasse d'une partie du calcaire qu'elle avait dissout et alimente ainsi la stalactite. Sous l'action de forces physicochimiques extrêmement nombreuses et complexes, le capillaire central peut se trouver dévié et la stalactite cesse de croître verticalement; elle prend une direction oblique ou même ascendante (fig. 14).

Des animaux qui ne voient jamais

Les animaux cavernicoles



T W 24325

FIG. 14. — LE « COR DE CHASSE », EXCENTRIQUE DE LA GROTTTE DE COURNIU (HERAULT) (Photo Giry)

fuiet la lumière, mais ne constituent pas des espèces spéciales, car ils se rattachent à ceux qui vivent au dehors. Leurs caractères raciaux se sont tellement modifiés dans l'obscurité que certains naturalistes ont pour eux créé des genres particuliers. Leurs téguments se sont décolorés, leur corps est devenu translucide, tandis que les organes de la vue s'atrophiaient et même disparaissaient. Ceux du tact et de l'ouïe acquéraient par compensation un très grand développement. Les animaux des grands fonds marins ont d'ailleurs subi la même transformation. Plus nombreuses sont les espèces, plus accentuées se sont opérées les modifications sensorielles.

Les spécialistes ont dénombré plus de trois cents variétés d'insectes; ils ont trouvé, en outre, des arachnides, des myriapodes, des crustacés, des mollusques, des vertébrés, etc...

Parmi les insectes : des coléoptères (anophthalmes), des orthoptères, des blattes, des sauterelles à longues pattes ont des antennes et des palpes démesurément allongées.

Les rats du genre *Neotoma* ont de grands yeux, mais ne voient plus. Certains poissons (amblyopsis spelaens, *Lucifraga dentala*) ont perdu leurs yeux. En revanche, certaines larves ont acquis le pouvoir d'émettre des lucurs phosphorescentes.

Les grottes préhistoriques

La température relativement douce et constante de l'air des cavernes, leur accès difficile et leur fortification naturelle ont spontanément attiré les premiers hommes. Selon les époques et les endroits, ils les ont considérées comme des lieux d'habitation, des terrains de chasse, des points d'eau potable ou des temples secrets où s'opéraient les rites magiques.

La tribu n'y séjournait que par intermittence, encombrant le sol vierge de silex taillés, de débris de cuisine, d'ossements de gibier, de pierres de foyer noyées dans la cendre. Dès son départ, la désagrégation des parois recouvrait peu à peu tous ces déchets qui se prenaient en une masse compacte enrobée dans la stalagmite. Un nouveau sol était né. D'autres occupants s'y installaient et y entassaient involontairement une seconde couche archéologique. Les horizons fossilifères intercalés entre les niveaux stériles sont comme les feuillets d'un grand livre où se lit l'histoire de l'humanité. Mais leurs sculptures, leurs peintures et leur céramique richement décorée demeurent souvent invisibles. Les spéléologues les retrouvent en forçant les siphons, en brisant les stalagmites, en dynamitant les rocs effondrés. Ainsi ont été découvertes les grottes de Cabrerets (Lot), du Tuc d'Audoubert (Ariège), Montspan (Ariège), Lascau (Dordogne), Baume de Latrone (Gard), la grotte Bayol (Gard), les gisements de Laugerie-Haute (Les Eyzies), étudiés par MM. H. Breuil, le comte Bégouën, Peyrony, Maury, l'abbé Lemozi, l'abbé Bayol et nous-même.

La mort des cavernes

Dans l'univers matériel, les effets géologiques se compensent; les uns construisent, les autres détruisent. Les cavernes suivent régulièrement ce rythme.

Dès que l'eau a quitté une grotte, celle-ci est vouée aux forces destructives qui comblent les vides. Les galeries horizontales, au cours des millénaires, se remplissent d'une argile rouge de décalcification entraînée par les eaux d'infiltration. Les effondrements intérieurs font remonter la cavité, tandis que le plateau supérieur s'abaisse, démantelé par l'érosion. Lorsque le toit s'effondre, un gouffre apparaît. Les déchets extérieurs s'y accumulent en de volumineux éboulis qui bouchent puits et chemi-



T W 24326
FIG. 15. — UN MASSIF D'EXCENTRIQUES DANS LA GROTTE DU GRAND ROC (DORDOGNE) (Photo Maury)

nées. C'est ainsi que P. Chevalier, pour battre le record du Trou du Glaz, a désobstrué cinq passages successifs de glaise d'argile et d'éboulis.

Les racines des arbres qui peuvent pénétrer jusqu'à 80 m de profondeur (Barrenc, de la Serre, Aude) désarticulent sous terre les strates qui se disloquent.

Les stalactites même deviennent un fléau quand leur masse s'accroît outre mesure. Les coulées obstruent les couloirs (Saint-Marcel-d'Ardèche), ferment les communications verticales, construisent d'énormes dômes de cristal envahissant (grotte Favot, Isère).

Les descentes de terre sur le flanc des collines verrouillent enfin les anciennes entrées naturelles (grotte de Cravanche, Belfort), toujours difficiles à retrouver quand une fissure mise au jour par des travaux de carriers ouvre des salles nouvelles. Finalement, une vaste cuvette d'effondrement est le dernier vestige de ces énormes trous qui se transforment quelquefois en un lac d'eau douce (gouffre de l'Éil-Doux, lac de St-Pierre-la-Mer, Aude).

fre de l'Éil-Doux, lac de St-Pierre-la-Mer, Aude).

L'avenir de la spéléologie

Grâce à Martel et à ses successeurs, et au prix d'expéditions extrêmement hardies et périlleuses, les cavernes et les grottes ont perdu beaucoup de leur mystère. Elles nous ont révélé des beautés que grâce à certains aménagements les touristes peuvent admirer plus commodément que les pionniers, qui les découvrirent.

Le grand public est surtout frappé par le côté sportif des explorations de cavernes, par les difficultés de cet alpinisme en profondeur et dans le noir par la hardiesse des passages de siphons par des plongeurs intrépides. Mais, le spéléologue ne doit pas se borner à totaliser des centaines de mètres de montée d'échelles en un temps record, accumuler un nombre impressionnant de gouffres en une campagne d'été. Il doit aussi recueillir des observations qui intéresseront les branches les plus diverses de la science. Après le géographe et le géologue, dont c'est le métier d'étudier la terre dans ses moindres recoins, le paléontologue y viendra chercher des restes de la faune ancienne, le préhistorien des traces des premiers hommes, l'hygiéniste y viendra dépister les causes de la pollution des eaux de sources et de résurgence, et sans doute aussi le physicien y viendra mesurer l'intensité du rayonnement cosmique.

André GLORY.