

vulcanologues avaient prévu que le flot subglaciaire s'écoulerait dès que le niveau de la mer souterraine aurait atteint 1 450 mètres au-dessus du niveau de la mer. On en était à 1 510 mètres, le 27 octobre. Comme l'activité volcanique faiblissait, on commençait à espérer que les trombes n'auraient pas lieu. Puis, après quelques petites secousses sismiques, le 4 novembre, le débit de la rivière qui s'échappe de la mer subglaciaire passa, en deux heures, de 70 à 6 000 mètres cubes par seconde. L'eau était noire de sédiments et sentait le soufre. Des icebergs de 200

tonnes ont été arrachés du glacier. Le débit maximal atteignit 45 000 mètres cubes par seconde. Le flot se calma en quelques jours. Trois mille milliards de litres d'eau de fonte ont ainsi été déversés. Des portions de route et des ponts ont été arrachés, ainsi que des lignes électriques et téléphoniques situées sur le passage des flots.

Cet événement serait le signe d'une activité croissante sur la frontière entre l'Europe et l'Amérique du Nord, et d'autres éruptions devraient suivre, où le feu et la glace se mêleront.

Christoph ROLOFF, Berlin

Lune, les zones froides comme la région polaire Sud ne sont pas directement visibles de la Terre, aussi, les astronomes ont utilisé une sonde lunaire.

La sonde *Clementine* ne possédant pas de radar, les planétologues américains ont détourné de sa fonction principale l'antenne de communication de la sonde. Au lieu d'envoyer le signal de communication directement vers la Terre, le signal était émis vers la Lune, diffusé par la surface lunaire, puis reçu sur Terre. Lors d'un survol de la dépression polaire Sud en avril 1994, les planétologues ont noté un pic dans le rapport entre deux ondes polarisées qu'ils interprètent comme une diffusion par une surface réfléchissante d'une centaine de kilomètres carrés. Cette surface pourrait être de la glace.

S'il s'agit effectivement d'eau, quelle est son origine ? Elle a vraisemblablement été apportée par des impacts cométaires. Il y a quatre milliards d'années, la Lune, récemment formée, se refroidit. Selon Yves Langevin, de l'Institut d'astrophysique spatiale, elle est constamment bombardée de météorites et de comètes qui contiennent beaucoup d'eau. Les molécules d'eau contenues dans ces corps qui tombent sur la Lune suivent des destins divers. Une partie rebondit tellement vite qu'elle échappe à l'attraction lunaire. D'autres molécules moins rapides, telles des millions de balles, rebondissent de cratère en cratère au gré de leur trajectoire balistique. En trois mois de rebondissements, nombres de molécules d'eau sont ionisées et emportées par le vent solaire. Si, au cours de ces trois mois, des molécules d'eau alunissent dans des zones froides, elles peuvent être adsorbées par la surface lunaire.

Au total, dans ces zones froides, on trouverait une succession de couches de glace et de régolite (la poussière lunaire accumulée après des impacts de météorites) dont l'épaisseur totale ne dépasserait pas une dizaine de mètres. Dans ces couches, quatre milliards d'années d'histoire de bombardement de la Lune par les comètes seraient préservés.

Cette découverte, qui doit être confirmée, suscite un intérêt scientifique considérable, non pour fournir de l'eau à d'éventuelles bases lunaires (la quantité serait insuffisante), mais surtout parce que les scientifiques auraient à « portée de fusée » un témoignage unique de l'histoire passée du Système solaire. À l'heure où des missions spatiales s'envolent pour Mars à la recherche de la vie, cette quête d'eau lunaire pourrait relancer l'intérêt de missions moins coûteuses vers le satellite de la Terre.

Lune glacée

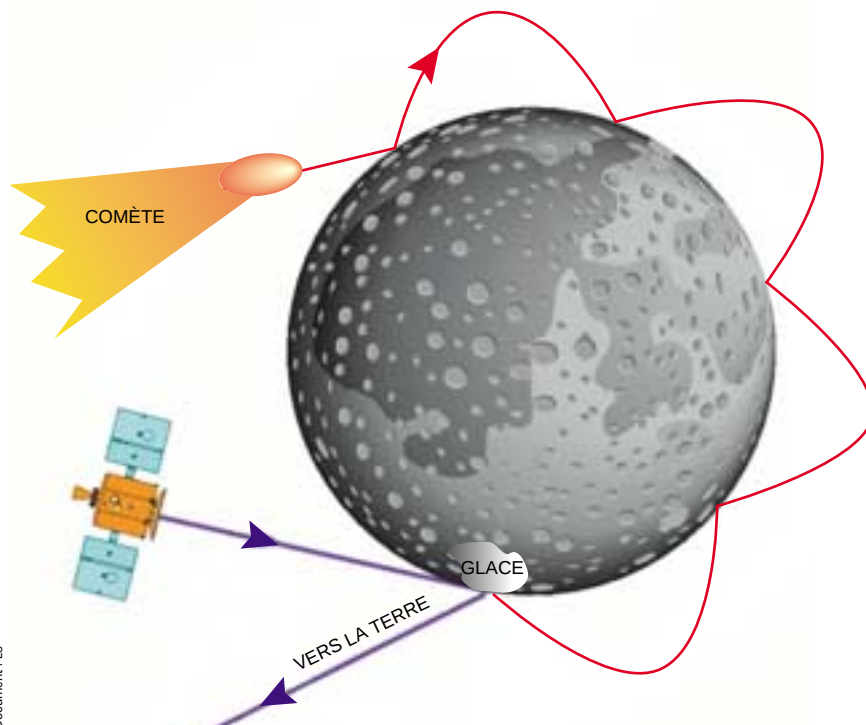
Un lac gelé sur la Lune?

Les glaces du Groenland recèlent l'histoire de l'atmosphère terrestre depuis quelques centaines de milliers d'années. La sonde *Clementine*, placée en orbite lunaire au printemps 1994, aurait détecté de la glace près du pôle Sud de la Lune : quatre milliards d'années d'histoire du Système solaire seraient conservés dans cette glace apportée par des comètes.

Dès les années 1960, les astronomes pensaient qu'il existait de l'eau sur la Lune. Les missions automatiques et habitées

qui s'y sont succédé n'ont rien trouvé, sans doute parce que les lieux d'alunissage n'étaient pas adéquats : les zones éclairées par le Soleil sont trop chaudes (130 °C) pour conserver la glace. La région du pôle Sud de la Lune, située dans une dépression, est le plus souvent à l'ombre. Des cratères jamais éclairés y existent : à une température de -173 °C ces « congélateurs » piègent la glace.

L'eau est commune dans le Système solaire : outre la Terre et les calottes polaires martiennes, toutes les planètes gazeuses contiennent de l'eau. Début 1994, à l'aide du radiotélescope d'Arecibo, les astronomes avaient décelé sur Mercure une zone réfléchissante, vraisemblablement de la glace. Sur la



La chute d'une comète sur la Lune libère des molécules d'eau dont certaines sont piégées, après plusieurs rebonds, dans des « congélateurs » (des régions toujours dans l'ombre du Soleil). La sonde *Clementine* aurait détecté une telle zone gelée près du pôle Sud lunaire.

Les concrétions des grottes enregistrent climats et séismes

PAUL DUBOIS • BERTRAND GRELLET

Dans les grottes, les variations du climat et les séismes se traduisent par des modifications de structure des concrétions, identifiables et datables.

Les concrétions calcaires des grottes, stalactites et stalagmites, enregistrent les caractéristiques de l'écoulement d'eau qui les a créées, et donc des événements qui ont

modifié la vitesse et la nature de leur formation.

Dans un milieu souterrain relativement protégé de l'érosion et des dégradations humaines, ces dépôts

sédimentaires, nouvellement désignés sous le nom de «spéléothèmes», sont datés par les moyens classiques de la datation géologique. Le décryptage de ces «archives géologiques» qui nous renseignent sur l'histoire climatique et géologique locale a beaucoup progressé ces dernières années.

La vie de la grotte

Une grotte, comme tout système géologique, a une histoire : elle naît, vit et se développe, puis vieillit et disparaît lentement. La grotte apparaît et grandit quand un courant d'eau chargé de gaz carbonique creuse une roche calcaire. Les galeries de certains réseaux de grottes s'étendent sur des centaines de kilomètres (plus de 500 kilomètres à Mammoth Cave, aux États-Unis) et les dénivélés verticaux peuvent dépasser le kilomètre (1 602 mètres au gouffre Jean Bernard, en Savoie). Le vieillissement est lié au tarissement des courants et des eaux de creusement, et au comblement de la grotte par les sédiments et les concrétions.

Les dépôts détritiques des grottes résultent de l'accumulation des sédiments. Les dépôts endogènes, éboulements des parois et des plafonds, renseignent, quand on sait les dater, sur l'évolution de la grotte et, éventuellement, sur l'origine sismique de son comblement.

Les dépôts exogènes proviennent de l'extérieur de la grotte. L'agent de transport, le plus souvent l'eau, dépose des sédiments semblables à ceux trouvés dans les terrasses des rivières de surface. Leur étude met en évidence des séquences de dépôts liées à des crues avec conglomérats, grès et sables

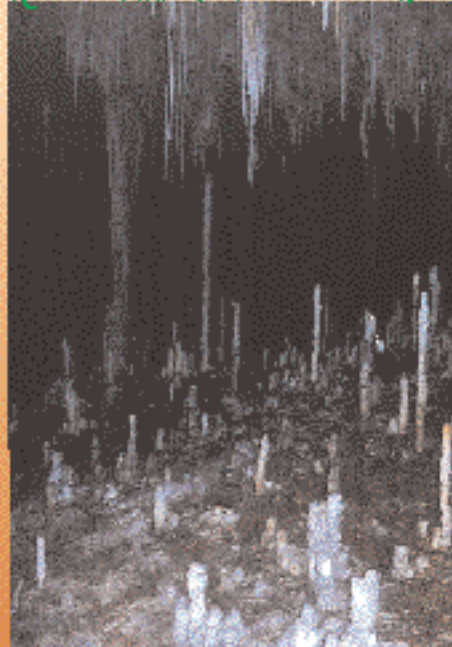
Les eaux des précipitations (pluie, neige) se chargent en gaz carbonique émis par la végétation. L'eau acidifiée dissout le calcaire (CaCO_3) des roches. La quantité dissoute de CaCO_3 dépend du climat extérieur : température, CO_2 , volume d'eau infiltrée, pH.



Les eaux qui s'infiltrent dans la roche calcaire continuent à se charger en calcaire dissout. La quantité dissoute et transportée dépend du CO_2 disponible et des propriétés de la roche.

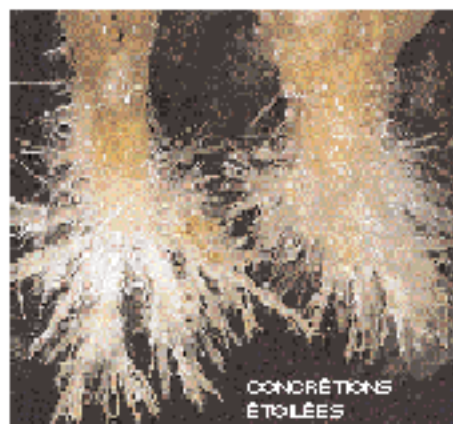


Le calcaire dissout dans l'eau précipite sous forme de concrétions. La quantité déposée de calcaire et la structure des concrétions dépendent du débit de l'eau d'infiltration et du climat de la grotte : température, humidité relative, degré de confinement.



Clamouse • GEOTER

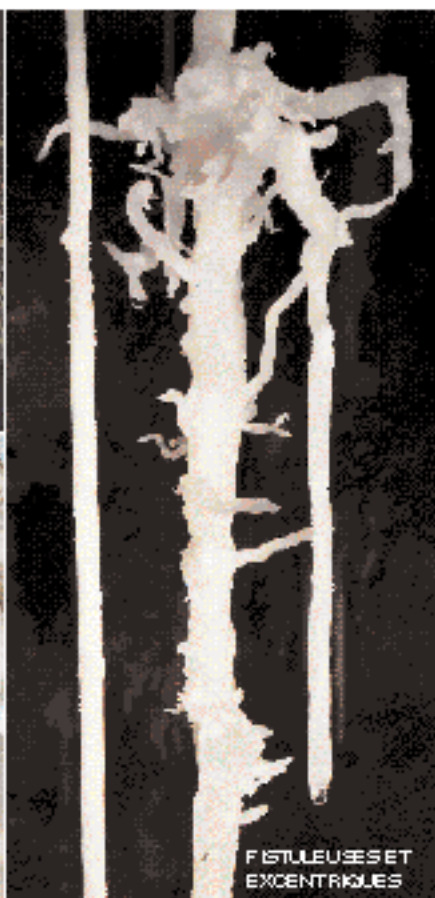
1. LES CONCRÉTIONS sont formées par précipitation du carbonate de calcium dissous dans l'eau qui transite de la surface jusqu'au vide de la grotte.



CONCRÉTIONS
ÉTOILÉES



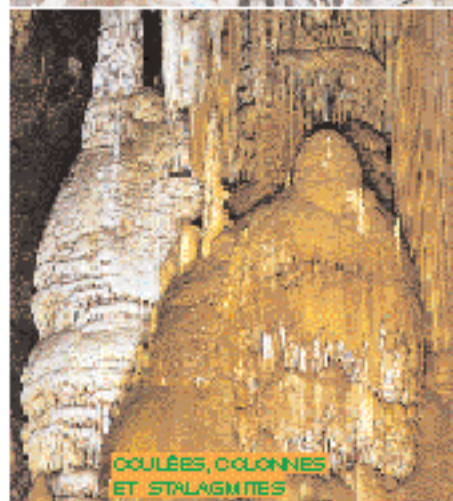
CRISTAUX D'ARAGONITES
EN AIGUILLES



FISTULEUSES ET
EXCENTRIQUES



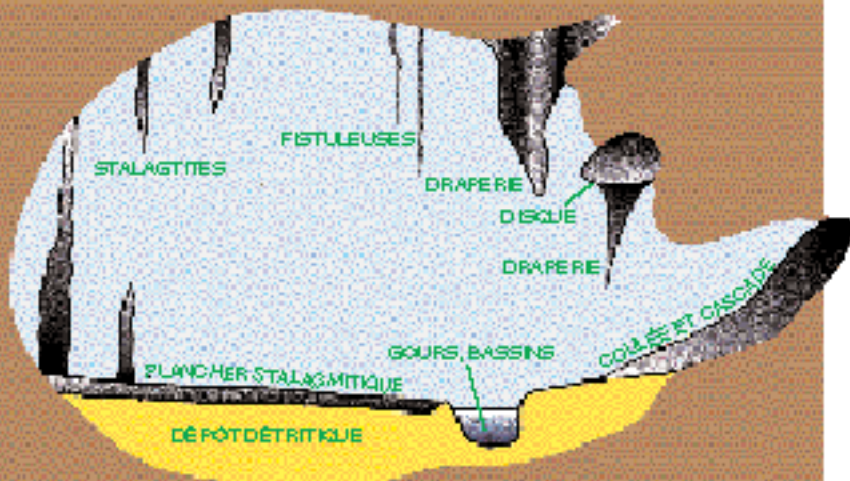
DISQUE ET DRAPERIE



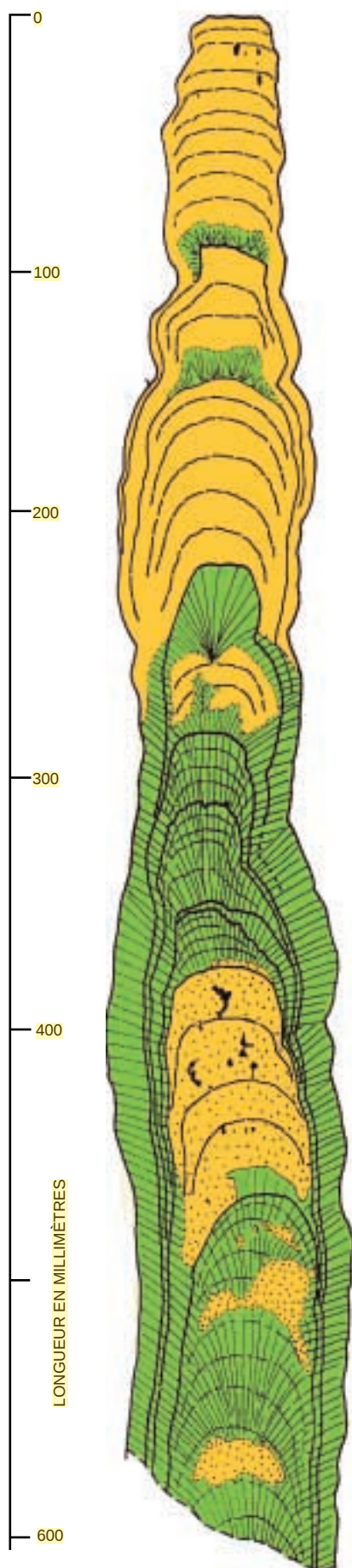
GOUTTES, COLONNES
ET STALAGMITES



CONCRÉTIONNEMENT DE BASSIN

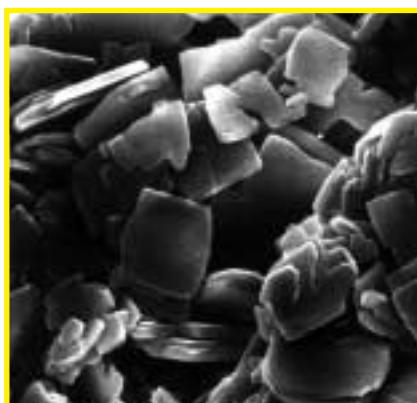


2. LA FORME ET L'IMPORTANCE des concrétions dépendent du débit d'eau qui les alimente : écoulement gravitaire ou écoulement capillaire. Le premier, soumis aux forces de gravité, met en place le concrétionnement «habituel» qui dépend du point de percolation de l'eau dans la grotte. L'écoulement capillaire, à très faible débit d'eau, entraîne un concrétionnement très limité en volume. Échappant à la gravité, le concrétionnement se ramifie dans toutes les directions, sous forme de cristaux isolés ou en touffes d'aiguilles, d'efflorescences, d'excentriques plus ou moins ramifiées. Son apparition dans une grotte est l'indice d'un «confinement», c'est-à-dire d'un faible renouvellement de l'air et de l'eau.

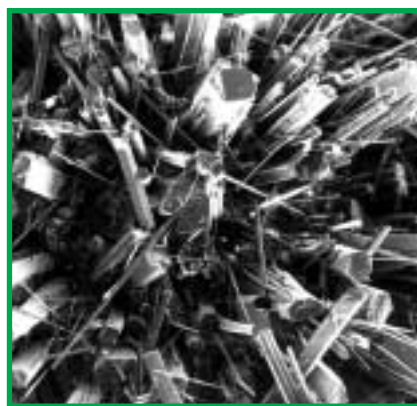


à la base, et argile fine au sommet. Le vent accumule aussi d'importants dépôts de sable fin et surtout de loess, indices d'un climat steppique lié à des phases climatiques froides péri-glaciaires ; ces dépôts détritiques exogènes renseignent sur l'environnement climatique externe à la grotte.

À partir des analyses de ces sédiments (granulométrie, morphoscopie, palynologie, etc.), on a reconstitué les diverses étapes, notamment climatiques et culturelles, qui se sont succédé au cours des derniers millions d'années. On a ainsi reconstitué, dans la grotte de Caune de l'Arago (Pyrénées-orientales), le cadre climatique



CALCITE



ARAGONITE

3. COUPE D'UNE STALAGMITE de la grotte de Clamouse, près de Montpellier : c'est un exemple rare et spectaculaire d'alternance de concrétionnements d'aragonite et de calcite. Dans la partie inférieure, essentiellement en aragonite, les plages de calcite apparaissent sur l'apex de la concrétion, partie qui reçoit la goutte d'eau et qui est la plus arrosée. Le passage aragonite-calcite dans la partie moyenne indique une variation climatique dont l'âge sera précisé par les études de datations (travaux de Silvia Frisia et Andréa Borsato, du Musée Trentin de sciences naturelles, Trente, Italie). Les deux photographies de calcite et d'aragonite ont été prises au microscope électronique à balayage.

et le mode de vie de l'Homme de Tautavel, le plus vieux fossile humain européen, qui vivait il y a environ 450 000 ans.

De plus, une grande partie des objets et outils préhistoriques ont été découverts dans les fouilles de dépôts détritiques, fouilles qui ont précisé les alternances climatiques durant lesquelles s'est développée la lignée humaine.

Au Quaternaire, les dépôts détritiques des grottes ont été souvent perturbés par des éboulements, des coulées de boue et des glissements de terrains. Ces phénomènes ont été causés par les longues périodes de dégel qui ont succédé aux phases péri-glaciaires et glaciaires, où le sol était fixé par le gel. Ces processus ont particulièrement affecté les grottes du Sud de l'Europe, lors de la phase de dégel progressif qui a suivi la période glaciaire du Würm, entre -20 000 ans et -8000 à -6000 ans, suivant la position des sites.

Les écroulements de falaises et ces glissements de pente ont alors obturé des porches de grottes fréquentées par les hommes préhistoriques au cours de la dernière glaciation, et assuré leur conservation et leur intégrité. La découverte de la grotte Chauvet, dans l'Ardeche, illustre cette préservation.

Les concrétions

Les dépôts chimiques des grottes, les concrétions, sont spécifiques du milieu souterrain. Ces concrétions se forment en présence de trois composants : l'eau, le gaz carbonique (ou dioxyde de carbone) et le calcaire. Quand l'eau de surface est acidifiée par la dissolution de gaz carbonique provenant des végétaux, le calcaire de la roche de surface est dissous sous forme de bicarbonate de calcium : cette dissolution du calcaire creuse les vides souterrains que sont les grottes. Le bicarbonate de calcium dissous est un composant en équilibre : quand la température de l'eau ou la pression partielle de gaz carbonique diminuent, l'équilibre chimique évolue dans le sens de la précipitation, avec dépôt de concrétions de carbonate de calcium.

Ainsi, en fonction des conditions du milieu, l'eau a une double action : soit elle creuse les conduits souterrains que sont les grottes, en dissolvant le calcaire, soit elle dépose le calcaire sous forme de concrétions et remplit les